APLICAÇÕES DE DADOS DIGITAIS OBTIDOS ATRAVÉS DE UM SENSOR AEROTRANSPORTÁVEL CASI (COMPACT AIRBORNE SPECTROGRAPHIC IMAGER) E SUAS INTEGRAÇÕES EM UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

FLÁVIO FELIPE KIRCHNER[1]
ROBERTO ELIZEU PREOSCK[1]
PAULO CESAR TEIXEIRA TRINO[1]
STEVEN MAH[2]

[1]AERODATA S/A - ENGENHARIA DE AEROLEVANTAMENTOS
Rua Alfredo Pinto, 3305
83065-150, São José dos Pinhais, PR, Brasil

[2]ITRES RESEARCH LIMITED
155, 2635 37 Avenue N. E.
Calgary, Alberta, Canadá, T1Y 526

Abstract: With the objective to determine the operational viability of digital data capture with high resolution and its integration in a Geographic Information System, several sudies were conducted using the following tecnologies: 1) one airborne sensor - CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager); 2) one image processing system - ARIES 380; and 3) one Geographic Information System - SPANS GIS.
The first phase was to capture the data with an airborne sensor CASI installed together, on a separate camera port, with an Wild RC-10 aerial camera unit on a twin engine Piper Navajo. These data were collected in a spatial and spectral mode, as well as panchromatic air photos. For roll correction a vertical gyroscope was installed over the sensor head. The second phase envolved the radiometric correction since the data was collected at a resolution of 12 bits and must be scaled to 8 or 16 bits. On the third phase the radiometric corrected data were transferred to the ARIES 380 image procesing system by a RS - 232 link, Kermit program and the files in band sequential (BSQ). Before registering the images to a common coordinate system, like U.T.M. projection, a supervised classification was performed where spectral signatures were obtained for each class and then a maximum likelihood method was applied. A post-classification filter was also applied to reduce the salt and pepper and to produce a more refined map. Following, a geometric correction was then applied using a plynomial transformation. On the fourth phase the corrected classified image was transfered to the SPANS GIS. SPANS is installed on a PC 486 microcomputer, 50 Mhz, 8 Mb RAM memory, under a OS/2, version 2.0, operational system. An integration of the CASI data, spatial data (contours, planimetry, thematic maps) and non spatial data was performed for further analysis, like area cross tabulation analysis, topologic analysis, etc. The study areas envolved the following sectors: agriculture, energy, pulp and paper, mining, water quality, rural cadaster.

Tabela 1: Especificações para o Imageador Espectroscópico Compacto Aerotansportável - CASI

Tipo	Imageador Espectrográfico pushbroom com prisma de reflexão e um array CCD bidimensional
IFOV	35°(amplitude) x 0.069°(along track)
Campo Espectral	430 - 870 nm nominal
Resolução Espacial	512 pixels transversais a linha de vôo, com resolução terrestre de 1 a 10 metros dependendo da altitude (a resolução ao longo da linha de vôo depende da razão de varredura e velocidade da aeronave).
Resolução Espectral	288 pixels amostrais em intervalos de 1.8 nm
Sensitividade	0.03 $\mu w/cm^2$ - sr - nm; 30 linhas/segundo em 575 nm
Detector	CCD resfriado termoeletricamente
Razão de Varredura	Até 100 linhas/segundo para uma só banda; aumentando o número de bandas diminui a razão de varredura; Para 8 bandas a razão é de 20 linhas/segundo
Amplitude Dinâmica	12 bits
Gravação	2 GB ou 2 horas de capacidade por fita magnética.
Controle de Operação	Teclado e um display CRT colorido controlado por menu
Modos de Operação: - Modo de Imageamento (espacial) - Modo Multiespectral - Modo de Cena Inteira	 512 pixels espaciais trasversais à amplitude de 35°, comprimentos de onda e largura das bandas programáveis (até 15 bandas) 288 pixels espectrais para até 39 direções de visada transversais a amplitude de 35°, e um canal de recuperação de cena programável 288 pixels espectrais e 512 pixels espaciais.
Display em Tempo Real: - Modo de Imageamento (espacial) - Modo Multiespectral - Modo de Cena Inteira	 Display colorido ou preto e branco de uma banda selecionada Display colorido ou preto e branco para o canal de recuperação de cena; display de todo o espectro para qualquer uma das direções visadas Mesmo do modo multiespectral
Peso	120 lbs (55 Kg)
Voltagem	110 volts; 2.5 ampéres
Ambiente Térmico	Operacional: 5° até 40°C Não Operacional: -20° até 60°C

Introdução

Muitas aplicações de tecnologia de sensoriamento remoto em áreas como agricultura, florestas, mineração, etc, exigem uma resolução espectral melhor do que atualmente é disponível nas fotografias aéreas ou sensores a bordo de satélites. Fotografia aérea com uma resolução espectral alta é possível, mas a sua utilização em um ambiente operacional é difícil e dispendiosa [Ahern (1988)]. Os atuais sensores a bordo de satélites fornecem coberturas de grandes áreas a um custo relativamente baixo, mas as suas capacidades espectrais limitadas não são suficientemente detalhadas ou precisas para o monitoramento intensivo dos recursos naturais [Batrrick-Rolfe (1986)]. Uma nova geração de sensores aerotransportáveis foram desenvolvidos para que respondam às necessidades de imagens com altas resoluções espectrais [Staenz (1992)].

Um dos primeiros imageadores espectrométricos, o Fluorescence Line Imager (FLI), foi construído para o Canadian Departament of Fisheries and Oceans pela MONITEQ Ltd. de Toronto e a ITRES Research Ltd. de Calgary [Borstad et al. (1985)]. Apesar de ter sido originalmete projetado para aplicações oceanográficas, o FLI foi usado em várias missões de imageamento sobre áreas florestais [Rock et al. (1988)]. Com as suas consideráveis experiências com imageadores CCD (Charge Coupled Device) [Anger et al. (1987)] e nas extensivas experiências da Borstad Associates Ltd. com o FLI e espectroscopia de alta resolução, a ITRES Research Ltd. desenvolveu a segunda geração de imageamento espectroscópico chamado Compact Airborne Spectrographic Imager - CASI (Imageador Espectroscópico Compacto Aerotransportável).

A fonte primária dos dados foi então obtida com o sensor CASI, tanto no modo espacial como no modo espectral. Para o processamento destes dados é necessário o emprego de sistemas que permitam a manipulação, tanto no modo espacial como no modo espectral e dados em 8 ou 16 bits. Para o processametno espacial foi utilizado o sistema de processamento de imagens ARIES 380 e para o processamento espectral um "software" específico desenvolvido pela ITRES Research Ltd. Conjuntamente, foi aplicado a correção radiométrica aos dados com "software" também de propriedade da ITRES Research.

A correção geométrica dos dados foi realizada tanto no sistema ARIES 380 como no sistema da ITRES Research para a correção de rolamento (roll correction).

Após as imagens classificadas, as mesmas foram transferidas para o Sistema de Informações Geográficas SPANS, onde foram integradas com outras informações alfanuméricas e mapas temáticos para análises espaciais.

Descrição dos Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados foram:

1. O Sensor Aerotransportável

O CASI (Imageador Espectroscópico Compacto Aerotransportável) foi projetado para atender às necessidades da comunidade científica. Estas necessidades são para produzir imagens digitais do visível ao infravermelho perto, com grande sensitividade, grande resolução espectral e uma amplitude dinâmica ampla, ser compacto e facilmente transportável, ser facilmente montado em uma variedade de aeronaves de pequeno porte, ser de fácil operação, e acima de tudo, ser de baixo custo.

O CASI tem sido usado nas seguintes áreas de aplicação:

- Oceanografia e pesca: produtividade de oceanos, florescimento de algas, vegetação aquática;

- Florestas: vitalidade de reflorestamentos, discriminação de espécies, inventário florestal, infestação e stress ou poluição;

- Rios e Lagos: qualidade superficial da água, vegetação aquática, sólidos em suspensão;

- "Enforcement": controle de descargas, estudos de efluentes, deteção de contrabando de culturas;

- Agricultura: vigor das culturas, doenças, contaminação;

- Geobotânica, uso da terra, estudos de impactos ambientais...

As especificações do CASI são ilustradas na Tabela 1, a seguir, e ilustradas no Apêndice I.

2. O sistema de processamento ARIES 380

O ARIES 380 é uma"wokstation stand-alone" de grande desempenho para aplicações de sensoriamento remoto. Embutido no ARIES-380 está uma CPU Micro-Vax 3800 com uma grande capacidade de disco integrado e uma unidade de fita com capacidade de leitura até 6250 BPI. O ARIES-380 inclui um monitor de alta resolução com uma arquitetura flexível para manipular eficientemente grandes imagens multiespectrais, um "array processor" dedicado de 20 MIPS para processamentos rápidos e um extensivo pacote de programas para imageamento, sensoriamento remoto e interfaces para Sistemas de Informação Geográficos.

A Figura 4 ilustra o diagrama de configuração do ARIES 380, fabricado pela DIPIX Technologies Inc. (Ver Apêndice I)

3. O sistema SPANS - GIS

O Sistema de Informações Geográficas SPANS (Spatial Analysis System), desenvolvido pela INTERA TYDAC Technologies, está instalado em um microcomputador PC 486, 50 Mhz, 8 Mb de memória RAM e um disco rígido de 240 Mb, com sistema operacional OS/2, versão 2.0. Como o sistema SPANS já é de uso pela comunidade, a sua descrição pode ser encontrada na literatura especializada.

No caso específico da sua instalação na AERODATA S/A, foi em virtude das capacidades de modelagem e ser baseado em "raster" (quadtrees), pois a fonte primária dos dados também está no formato "raster".

Desenvolvimento da Metodologia

Para demonstrar a integração da tecnologia desde a aquisição dos dados digitais através do CASI até à análise das imagens para a produção de mapas dentro de um ambiente de um Sistema de Informação Geográfico - SIG, uma série de projetos pilotos foram selecionados [Trino et al. (1993)].

Abrangendo quase todo o território brasileiro, áreas significativas foram sobrevoadas com o CASI, juntamente com fotografias aéreas convencionais. A área total sobrevoada correspondeu a 4070 Km^2 no modo espacial e 1530 Km^2 no modo espectral. A configuração das bandas espectrais seguiu em função dos objetivos de cada projeto, variando de 1 banda até 8 bandas, com pixel variando de 1,0 metro até 5,0 metros. A descrição detalhada das operações envolvidas encontram-se no trabalho publicado neste simpósio [Preosck et al. (1993)].

Para demonstrar a aplicação dos dados do CASI e a sua integração em um Sistema de Informação Geográfico, um dos projetos piloto que objetivou a avaliação de impacto ambiental devido à construção de uma hidrelétrica é relatado a seguir.

1. Área de Estudo e Aquisição de Dados

A área está localizada no município de Pinhão, Estado do Paraná, na junção do Rio Iguaçú e Rio dos Touros. A região contém uma pequena densidade de estradas e é composta principalmente de vegetação nativa e alguns reflorestamentos de Pinus spp. O relevo da região é moderado e um gradiente íngreme de cada lado do rio.

Em outubro de 1992, oito faixas de vôo foram executadas na direção norte-sul com comprimento de cada faixa de 25 Km, totalizando 200 Km^2. O tempo de vôo para recobrir esta área foi de 1 hora e 15 minutos. Os dados espaciais do CASI, com oito bandas espectrais, bem como fotografias aéreas pancromáticas, foram obtidas em condições nubladas de tempo. Mas nem por isso a missão não foi realizada, pois sendo as informações do sensor gravadas em 12 bits, isto permite a sua operação. O conjunto de oito bandas espectrais foi configurado para obter a informação da reflectância terrestre através das porções do visível e infravermelho perto do espectro eletromagnético, conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Configuração das bandas espectrais do CASI

Banda	Comprimento de onda (nm)
1	476.1 - 499.0
2	548.4 - 555.5
3	598.1 - 605.2
4	678.4 - 682.0
5	710.7 - 714.3
6	736.0 - 739.6
7	746.9 - 750.5
8	785.0 - 788.6

O planejamento de vôo determinou os seguintes parâmetros:

i. - altura de vôo de 12.500 pés;

ii. - velocidade da aeronave de 130 nós

Com estes parâmetros foram criados pixels com resolução aproximada de 3,5 metros por 3,5 metros. A sobreposição lateral de 40% foi obtida para assegurar

bons pontos de controle terrestres para futura mosaicagem. Cada faixa de vôo foi composta de aproximadamente 5.000 linhas de varredura. Uma pequena subárea de 512 pixels por 1024 linhas (6,24 Km^2), obtida às 12 horas e 51 minutos, foi extraída. Correções radiométricas e de rolamento foram transformadas do formato BIP para o formato BSQ. A imagem foi então convertida no formato do VAX/VMS e transferida para o sistema ARIES-380 para outros processamentos.

2. Níveis Digitais dos Mapas

Uma área dentro da zona UTM 22, englobando 10 Km^2, dentro das coordenadas geométricas E 388997 e N 7132497 (canto inferior esquerdo) e E 393000 e N 7135005 (canto superior direito) foram selecionadas dos mapas. Vários níveis digitais foram criados dos mapas na escala 1:5.000 dentro do módulo de digitalização do SPANS, a saber o TYDIG e importados para o SPANS como mapas digitais individuais. Estes incluíram água (rios e riachos contendo a cota de inundação), estradas, vegetação (6 classes), uso da terra e divisas de propriedades. A altimetria foi também digitalizada dos mapas topográficos na escala 1:5.000, em intervalos de 10 metros.

3. Processamento das Imagens no ARIES-380

O primeiro passo foi corrigir as imagens do CASI para o sistema de projeção UTM. Contudo, a região selecionada não continha pontos de controle distintos nos mapas. O mapa vetorial contendo estradas e a drenagem foram convertidos em imagem raster e transferida para o ARIES para conduzir o registro imagem para imagem (image to image registration). O uso combinado de imagem vetorial e mapas originais na localização de pontos de controle produziu resíduos menores do que 1 pixel em ambas as direções (x e y).

Antes de corrigir geometricamente a imagem, uma classificação supervisionada foi realizada. Utilizando-se dados auxiliares disponíveis (mapas topográficos e fotografias aéreas), amostras de treinamento foram delineadas. Assinaturas espectrais para cada classe foram geradas e em seguida o classificador de máxima semelhança foi empregado. Um filtro pós-classificação foi aplicado para eliminar ruído e produzir um mapa mais refinado. A transformação geométrica foi então aplicada na imagem usando o vizinho mais próximo com polinômio de 1ª. ordem. A imagem final classificada foi importada de volta para o SPANS onde uma conversão de arquivos do VAX para o PC foi realizada.

4. Processamento no SPANS

Análise inicial da área foi realizada nos mapas originais para determinar as áreas inundadas pela barragem. A análise foi baseada na cota de inundação indicada nos mapas topográficos. O mesmo procedimento foi aplicado para as imagens do CASI. Análise de tabulação de área cruzada (area cross tabulation) foi conduzida entre os mapas digitalizados e a imagem classificada do CASI. Este procedimetno compara as classes dos dois mapas separados e determina a correlação entre os dois. Um modelo digital de elevação (DEM) foi criado no SPANS e então perspectivas tridimensionais foram geradas para a vegetação antes e depois da inundação.

5. Análises e Resultados

A precisão da classificação da imagem foi determinada com respeito aos mapas digitalizados, o que produziu o seguinte resultado mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Comparação da Classificação do CASI com o mapa

Classe	Correlação (%)
Mata	93
Capoeira	90
Reflorestamento	72
Água mais Vegetação Aquática	92

A classificação supervisionada produziu duas classes separadas de capoeira, contudo, os mapas indicaram somente uma classe. Assim, o grupo capoeira foi reclassificado em uma classe geral.

Existiu um problema com o registro da imagem para os mapas. Devido a pecualiaridade da área, poucos pontos de controle eram visíveis. O registro de imagem para imagem dos dados vetoriais forneceram mais pontos de controle, contudo, estes não estavam distribuídos em toda a imagem. Alguns limites de classes não eram correspondentes o que explica as baixas precisões.

6. Conclusões

* O SPANS GIS forneceu mapas digitais informativos e detalhados da região rápida e eficientemente.

* Mapas antes e após a inundação foram criados produzindo graficamente a medida de mudança no meio ambiente.

* As imagens CASI forneceram informações espectrais recentes da região.

* As imagens do CASI foram capazes de produzir informações detalhadas do terreno devido as suas capacidades multiespectrais.

* Mais classes foram identificadas na imagem do que nos mapas.

* Tabulação de área mostrou correlações altas entre os mapas digitalizados e as imagens do CASI.

* A geocorreção necessita ser refinada e isto pode ser conseguido com pontos de controle terrestres mais precisos. Isto irá ser minimizado com a implementação de um Sistema de Posicionamento Global (GPS), necessário principalmente em áreas remotas tais como na Amazônia.

* Razões de canais e análise de componentes principais irão fornecer melhores resultados na classificação das imagens.

* Esta foi uma tentativa inicial de aplicação de uma tecnologia combinada e os resultados foram extremamente promissores.

* As fotografias aéreas foram uma fonte de informação auxiliar de valor inestimável. Estas fotografias aéreas irão ser críticas nas regiões mais remotas do Brasil.

* Também foi demonstrado que fontes de dados combinados (mapas topográficos, temáticos e CASI) fornecem importantes informações válidas, cada uma contribuindo com diferentes componentes para as análises.

* Em complemento à metodologia, foi concluído que é factível e prático o monitoramento do ambiente e as regiões afetadas pelo reservatório. Em um ambiente diverso, será possível monitorar a linha de proteção do lago para preservar a área da ocupação humana. Também os níveis de reflorestamento, desmatamento e atividade de sedimentação em volta do lago podem ser facilmente monitorados.

Referências Bibliográficas

F. J. Ahern, The effects of bark beetle stress on the foliar spectral reflectance of lodgepole pine, International Journal of Remote Sensing, 9(9) 1451-1468, 1988.

C. D. Anger, G. A. Borstad and S. K. Babey, Progress in imaging spectroscopy, 11th Canadian Symposium on Remote Sensing, Waterloo, Ont., June 22-25, 1987.

C. Battrick and E. Rolfe, ed., Remote Sensing for advanced land applications, European Space Agency Land Applications Working Group, ESA SP-1075, ESA Piblications Division, Noordwijk, The Netherlands, 1986.

G. A. Borstad, H. R. Edel, J. F. R. Gower and A. B. Holinger, Analysis of test and flight data from the fluorescence line imager, Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Science, 83, 38p., 1985.

R. E. Preosck, F. F. Kirchner, P. C. T. Trino e S. Mah, Um empreendimento operacional tecnologicamente avançado em sensoriamento remoto e sistema geográfico de informações, VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba-PR, maio de 1993, no prelo.

B. N. Rock, et al., Comparisson of in situ and airborne spectral mesurements of the blue shift associated with forest decline, Remote Sensing of the environmental, 24, p. 109, 1988.

K. Staenz, A decade of iamging spectrometry in Canada, Canadian Journal of Remote Sensing, 18 (4) 187-197, Outubro de 1992.

P. C. T. Trino, F. F. Kirchner, R. E. Preosck, E. Miller e C. D. Anger, Programa de transferência tecnológica em sensoriamento remoto e sistema de informação geográfico entre o Canadá e Brasil, VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba-PR, Maio de 1993, no pelo.

Apêndice I

A Figura 1 ilustra o diagrama do sensor aerotransportável CASI.

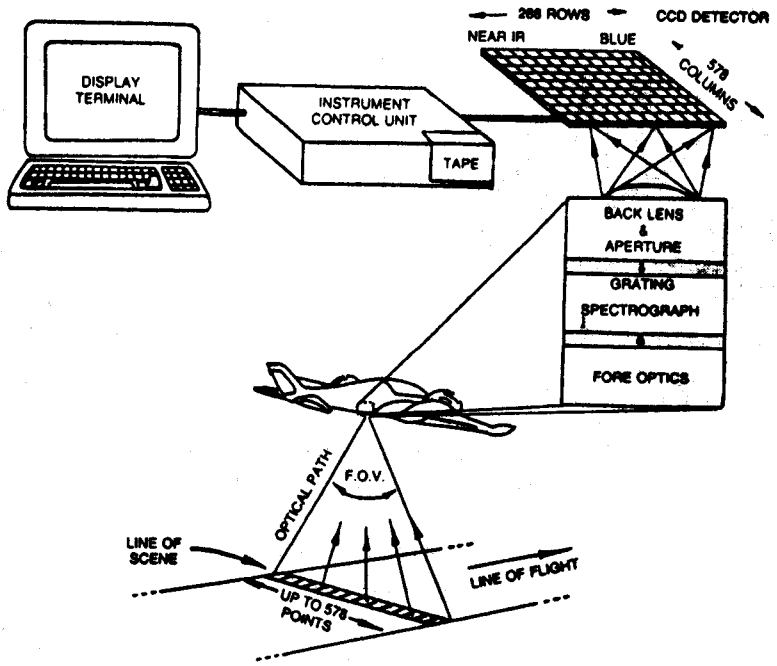

Figura 1: Diagrama do CASI
(Fonte: ITRES Research Ltd.)

A Figura 2 ilustra a obtenção dos dados com o CASI no modo de imageamento (espacial).

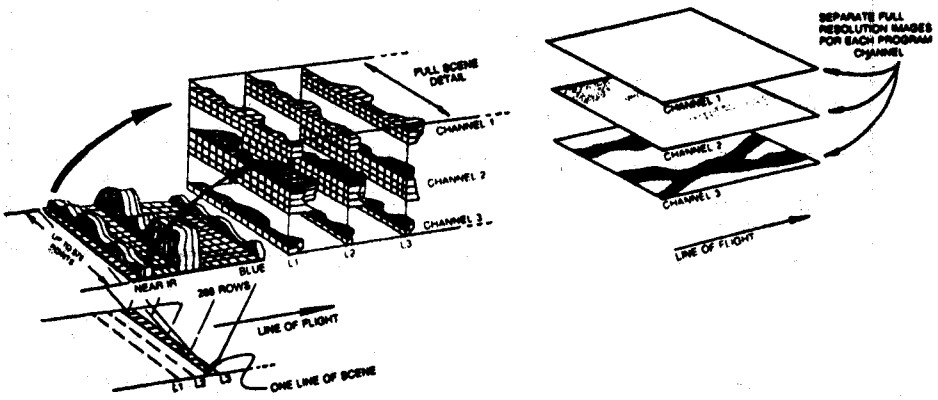

Figura 2: Modo de operação espacial
(Fonte: ITRES Research Ltd.)

A figura 3 ilustra a obtenção dos dados com o CASI no modo multiespectral. No apêndice II são mostrados alguns gráficos obtidos neste modo.

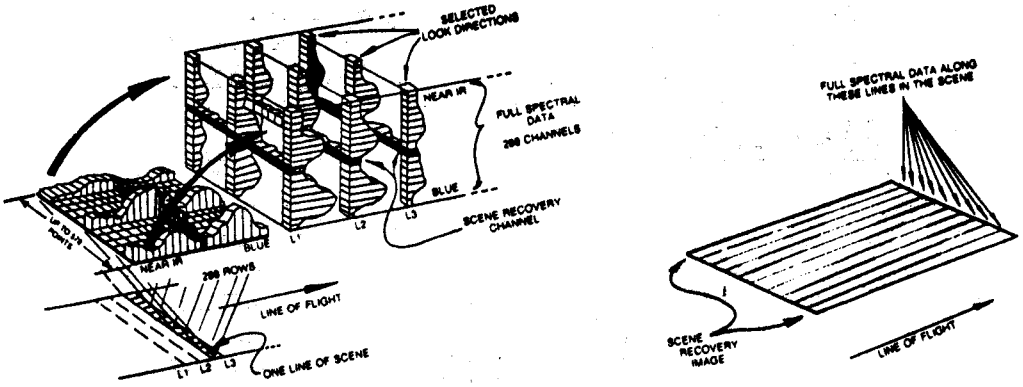

Figura 3: Modo de operação multiespectral
(Fonte: ITRES Research Ltd.)

A Figura 4 ilustra o diagrama de configuração do ARIES 380, fabricado pela DIPIX Technologies Inc.

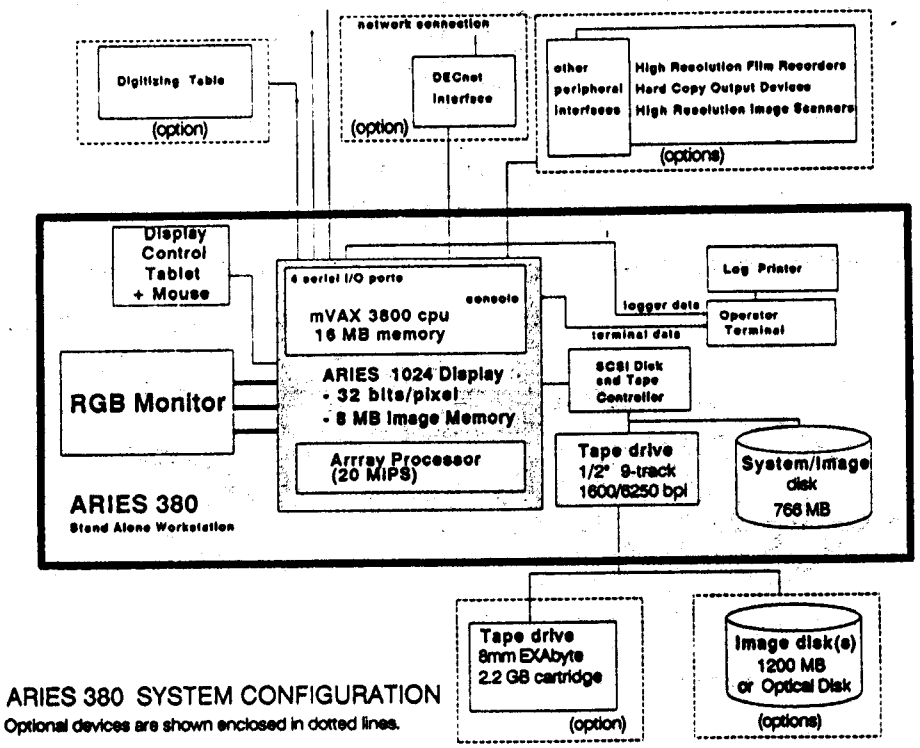

Figura 4: Configuração do Sistema ARIES-380
(Fonte: DIPIX Technologies Inc)

Apêndice II

Com o intuito de demonstrar as potencialidades do CASI, a seguir são ilustrados alguns gráficos de reflectância espectral com dados obtidos de outros projetos pilotos.

A Figura 5 ilustra as reflectâncias espectrais de três tipos de vegetação obtidos com dados espectrais extendidos para 16 bits.

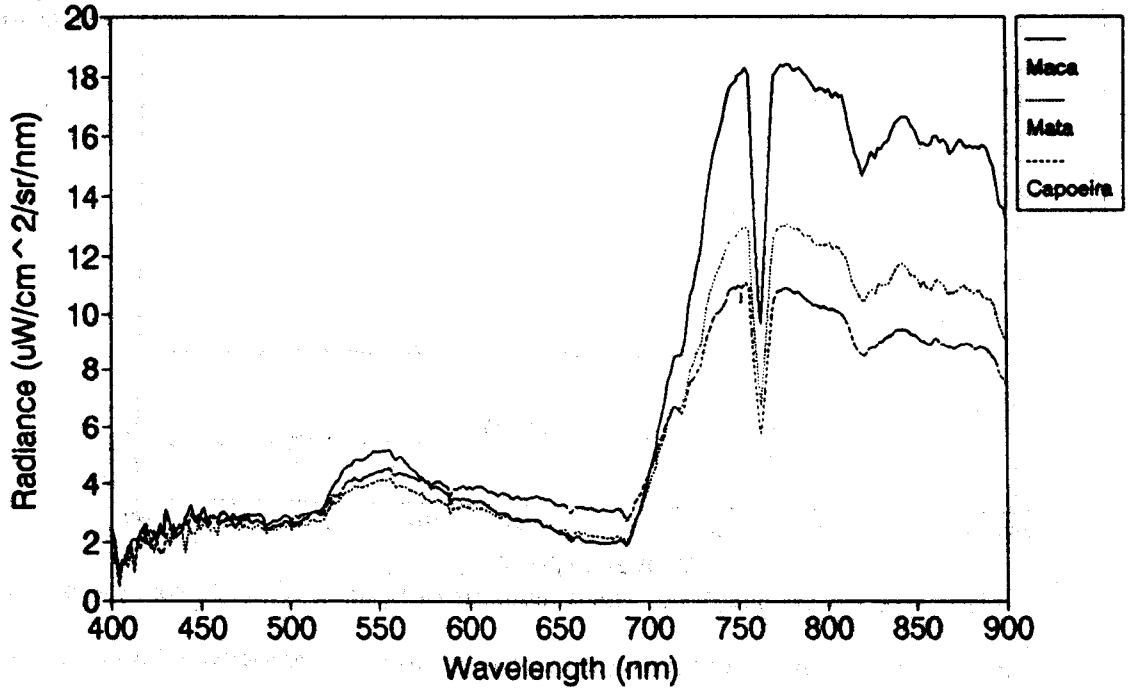

Figura 5: Reflectâncias espectrais de três tipos de vegetação

A Figura 6 ilustra reflectâncias espectrais de três direções de visada (look directions) da Baía de Guanabara.

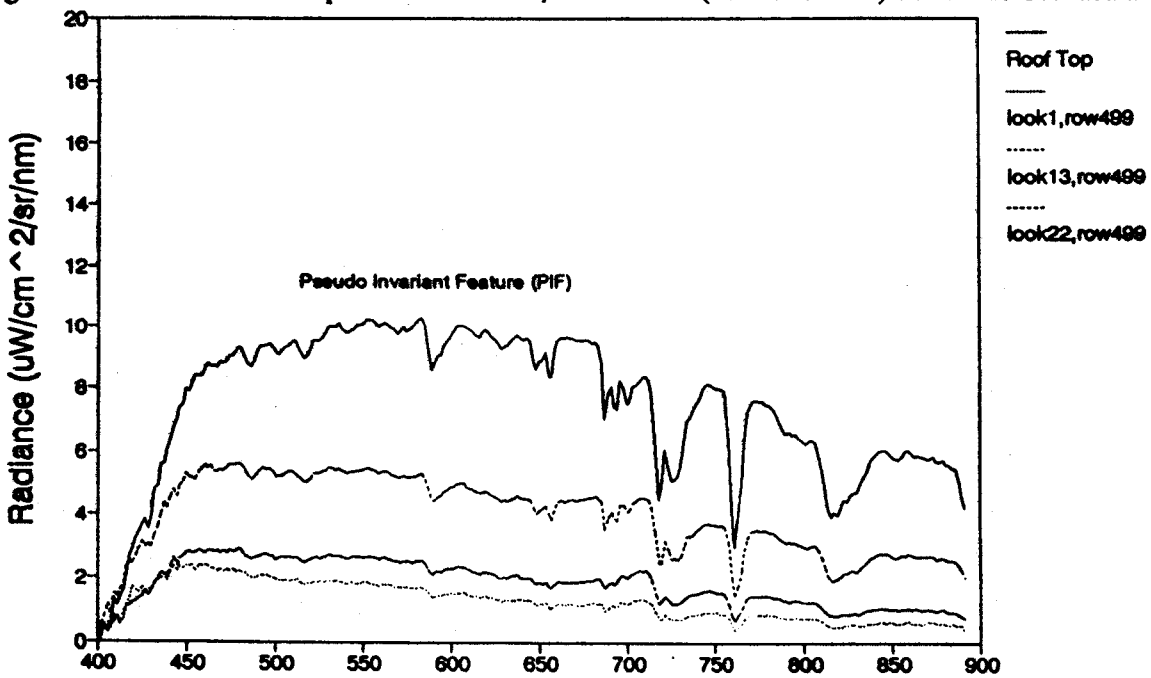

Figura 6: Reflectâncias espectrais de três direções de visadas da Baía de Guanabara.

É visível que a interferência da atmosfera mascara a informação contida em cada uma das curvas. Assim, a reflectância do telhado de uma construção foi usada para corrigir este efeito. Nota-se também a banda de absorção de oxigênio a mais ou menos 760 nm.

A Figura 7 ilustra a nova forma das três direções visadas usando o telhado de uma construção como um pseudo invariant feature.

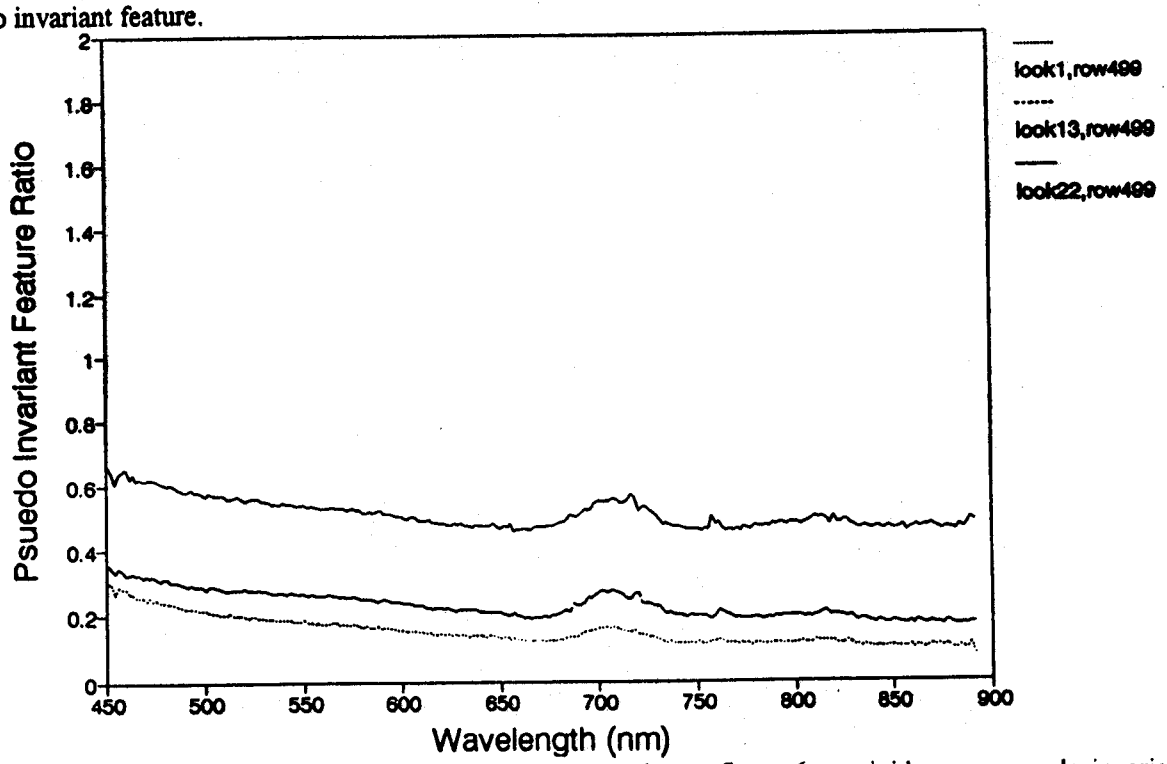

Figura 7: Reflectância espectral das direções de visada ilustradas na figura 6, corrigidas com pseudo invariant feature

Na região de 700 nm, nota-se uma elevação das curvas, sendo isto característico da fluorescência de maré vermelha.