

DADOS TM/LANDSAT NA IDENTIFICAÇÃO DO ATAQUE DA VESPA-DA-MADEIRA EM PLANTIOS DE Pinus sp.

Flávio Jorge Ponzoni

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR
Avenida dos Astronautas, 1758
12227-010 - São José dos Campos - SP

Abstract: Landsat/TM images (TM3 TM4, TM5 and TM7 spectral bands) from areas covered by *Pinus* sp. (pinus) stands, sub-tropical forests and grasslands, were selected considering four dates related to the outbreaks of a woodwasp (*Sirex noctilio*, Fabricius). The selected dates were: 03/27/88, 08/08/90, 06/10/92 and 07/15/93. In 1988 the woodwasp has not been detected in these pinus stands. During the year of 1990, it killed an average 10% of trees. In 1992 and 1993, the outbreaks were reduced to an average of 1% of killed trees, due the application of silvicultural procedures, including timely selective thinning for sustained vigour. All images were matched considering that of 1988 as a reference. Then, they were transformed in reflectance images. Atmospheric correction method was applied in order to reduce the atmospheric influence in the reflectance values. Vegetation index images were made by the ratio between TM4 and TM3 bands images. Multitemporal vegetation indexes were compared with the woodwasp outbreaks and selective thinning data. Meteorologic data were also considered in that comparison. Visual analysis was carried out, using color compositions that have been made by TM3, TM4, TM5 and TM7 bands combinations, trying to identify patterns that could be related to the woodwasp outbreaks. The results showed that the outbreaks and the selective thinning were not detected through both visual analysis and vegetation indexes evaluation.

Key-word: Sensoriamento remoto em fitossanidade, fitossanidade, sensoriamento remoto da vegetação.

1 Introdução

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo e/ou avaliação dos recursos naturais valem-se de três domínios principais: espacial, espectral e temporal. No primeiro são explorados os aspectos relacionados à forma e ao tamanho dos objetos (alvos). O domínio espectral refere-se à possibilidade de coletar a Radiação eletromagnética (REM) em faixas do espectro eletromagnético denominadas bandas espectrais, nas quais os alvos apresentam características diferenciadas em refletir, absorver e transmitir a REM neles incidente. Finalmente, o domínio temporal refere-se a periodicidade entre coletas de dados sobre uma mesma área.

A exploração de cada um destes domínios pode dar-se em diferentes níveis de aquisição de dados: laboratório, campo, aeronave e orbital. A adoção destes níveis dá-se em função dos objetivos do estudo. Diversos tipos de sensores também podem ser empregados nos diferentes níveis de aquisição de dados.

Os processos de interação da REM com a vegetação podem ser estudados segundo as mais diferentes abordagens, incluindo aquelas que consideram a influência de parâmetros específicos das composições química e morfológica de folhas, e ainda daqueles ligados aos demais parâmetros biofísicos da vegetação (por exemplo: índice de área foliar,

distribuição angular de folhas). Neste contexto estão incluídos os estudos ligados à fitossanidade, nos quais as alterações nos processos fisiológicos podem exercer influência na interação da REM com a vegetação. A magnitude desta influência deve ser levada em consideração na definição tanto do nível de aquisição dos dados, quanto das características do sensor a ser utilizado. Para tanto, antes de qualquer iniciativa no sentido de valer-se de técnicas de sensoriamento remoto para a identificação e/ou avaliação de problemas ligados à fitossanidade, é fundamental o conhecimento sobre a influência dos agentes estressantes nos processos fisiológicos e as formas de manifestação dos seus efeitos sobre a interação da REM com a vegetação.

A ocorrência de pragas em florestas implantadas é um evento que requer rapidez na identificação de métodos que proporcionem a contenção de seu desenvolvimento. Paralelamente à essa identificação está o acompanhamento da progressão do ataque do agente causal em termos geográficos, bem como o monitoramento das áreas sabidamente atacadas. Neste contexto, as técnicas de sensoriamento remoto podem apresentar algum potencial, sendo que na literatura que envolve o uso destas técnicas para estudos relacionados à fitossanidade, são apontadas limitações no uso de dados orbitais na identificação dos primeiros estágios do ataque, devido às inadequadas resoluções espaciais, espectrais e temporais.

No Brasil são escassos os exemplos de aplicação do sensoriamento remoto orbital na identificação e no monitoramento de pragas e doenças florestais, restringindo-se à situações nas quais os plantios já teriam sido parcial ou completamente destruídos.

Em fevereiro de 1988 foi realizado o primeiro registro da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio* Fabricius) no Brasil, em povoamentos de *Pinus* sp. (pinus), no município de Gramado, no Estado do Rio Grande do Sul. Como consequência, foram detectados elevados índices de mortalidade nos plantios atacados, motivando pesquisadores e demais profissionais do setor florestal a buscar alternativas para a erradicação da praga. Paralelamente, surgiram questionamentos quanto a viabilidade do uso de dados de sensoriamento remoto, coletados em nível orbital, na identificação e no monitoramento de plantios atacados pelo inseto, antes porém de serem totalmente comprometidos.

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade do uso de dados TM/Landsat na identificação dos efeitos causados pelo ataque da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio* Fabricius) em plantios de pinus

2 Fundamentação teórica

2.1 Estresse e dano em estudos de vegetação

A definição clássica do termo *estresse* refere-se ao conjunto de reações de um organismo à agressões de ordem física, psíquica, infecciosa e outras capazes de perturbar-lhe a homeostase (Agrios, 1969). Nos estudos da vegetação, este termo tem sido utilizado quando as agressões são causadas por patógenos, tais como fungos, bactérias, vírus, insetos, que pela falta ou excesso de água ou nutrientes, ou ainda pela ação da temperatura. Geralmente os fatores que causam o estresse acarretam perdas e danos na produção da vegetação.

Para o caso de estudos do estado fitossanitário de vegetação de porte florestal, Murtha (1972) definiu o termo "dano florestal" como qualquer tipo e intensidade de um efeito em uma ou mais árvores, que temporaria ou permanentemente reduz o valor financeiro, impede ou remove a habilidade biológica de crescimento, reprodução ou ambos. A partir desta definição compreende-se que a avaliação de um dano sobre uma floresta através de técnicas de sensoriamento remoto não se deve restringir somente à determinação da área danificada, ou a uma simples contagem de árvores mortas. Ela deve ainda incluir, quando possível, a pré-deteção do dano, sendo portanto necessário um maior e mais profundo conhecimento do processos envolvidos que causam o dano.

2.2 Sensoriamento remoto aplicado no estudo da vegetação estressada

Murtha (1978) apresentou uma discussão na qual tentou responder três questões fundamentais: a) o que constitui uma evidência de uma cobertura vegetal doente, atacada e/ou estressada a partir da análise de um produto de sensoriamento remoto (fotografias aéreas, imagens orbitais, dados radiométricos, etc.)?; b) como a cobertura vegetal doente, atacada e/ou estressada é identificada como tal num dado coletado remotamente? e, c) como a doença, ataque e/ou estresse pode ser avaliado?.

Com relação à primeira pergunta, o autor salientou que quando se considera o uso de produtos de sensoriamento remoto, os técnicos envolvidos na condução da avaliação de danos na vegetação devem estar atentos para os possíveis agentes e manifestações do dano, seus efeitos sobre a reflectância espectral da vegetação e o padrão resultante nos produtos de sensoriamento remoto. Quanto aos possíveis agentes do dano, existe uma variedade muito grande de agentes cujas manifestações podem ocorrer de uma mesma forma (ambiguidades). Assim sendo, pode-se identificar somente os sintomas ou as manifestações do dano.

Basicamente as manifestações de um dano podem ser de ordem morfológica, fisiológica ou ambas. A manifestação morfológica envolve a alteração da forma das árvores, sendo que a tortuosidade do fuste, perda de folhas e galhos, colapso de células, são alguns exemplos deste tipo de manifestação. A manifestação fisiológica é definida como uma alteração de uma função vital da planta, a qual é estabelecida de acordo com a sua atividade biológica. Como exemplo deste tipo de manifestação podem ser mencionados o decréscimo na atividade fotossintética, deterioração de cloroplastos, interrupção de vasos condutores de água e seiva.

Murtha (1978) mencionou que muitas vezes os efeitos não são imediatos e visualmente aparentes, como no caso de uma planta que apresenta uma deficiência na translocação de água, a qual não pode ser notada até que as células apresentem uma perda de turgidez tal, capaz de ocasionar a murcha das folhas. Neste momento, ocorre uma mudança morfológica da planta a qual poderá ser detectada por sensores remotamente situados. Um dos principais sintomas de ordem fisiológica visualmente detectável é o amarelecimento da folhagem.

2.2.1 Reflectância de uma folha verde sadia

Para melhor compreender a natureza das alterações detectáveis através de sensores remotos, faz-se necessária a apresentação e discussão da curva típica de reflectância de uma folha verde sadia, a qual encontra-se na Figura 2.1.

Verifica-se um pico de reflectância (entre 10 a 20%) na região compreendida entre 0,50 a 0,60 μm (região do verde), baixos valores de reflectância (entre

8 a 10%) nas regiões entre 0,40 a 0,50 μm (região do azul) e entre 0,60 a 0,70 μm (região do vermelho), altos valores de reflectância (30 a 70%) entre 0,70 a 0,90 μm (região do infravermelho próximo) e finalmente valores ligeiramente mais baixos, do que os verificados na região do infravermelho próximo, na região entre 0,90 a 2,60 μm (região do infravermelho médio).

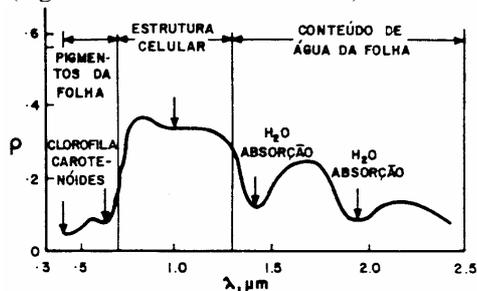


Fig. 2.1 Curva típica de reflectância de folha verde sadia

Fonte: Novo (1989)

Kumar (1972) apresentou uma revisão sobre o que chamou de propriedades espectrais da vegetação, na qual foram discutidos os fatores influentes na reflectância espectral de folhas e de dosséis vegetais. O autor mencionou que a reflectância espectral da vegetação referente à região do visível (0,40 a 0,70 μm) é influenciada pela qualidade e quantidade de pigmentos fotossintetizantes. Por exemplo, as clorofilas "a" e "b" absorvem a REM predominantemente nas regiões do azul e do vermelho. Qualquer alteração na quantidade destas clorofilas na folha, podem alterar esta absorção, o que implicará na modificação na forma da curva de reflectância. Se esta alteração estiver relacionada com a ação de algum patógeno, a modificação da curva de reflectância estará indicando indiretamente o efeito de sua presença. Resta saber, contudo, se a magnitude desta modificação será de tal forma que permitirá sua percepção através dos dados coletados pelo sensor.

Na região do infravermelho próximo, os altos valores de reflectância devem-se ao espalhamento da REM que ocorre no interior da folha, de forma que quanto mais lacunosa for a estrutura interna da folha, maior será este espalhamento e conseqüentemente, maior será sua reflectância. Murtha (1978) mencionou que na região espectral do infravermelho próximo é que ocorrem as primeiras alterações na reflectância da vegetação quando esta se encontra estressada. Esta afirmação foi fundamentada em Lillesand et al. (1975), que identificaram danos na vegetação a partir de fotografias aéreas verticais tomadas com filmes infravermelho e pancromático. O período de observação foi estimado em aproximadamente 24 horas, sendo que somente 6,5 horas após a identificação do dano nas fotografias tomadas com o filme infravermelho, este foi

também observado em fotografias tomadas com o filme pancromático.

Na região do infravermelho médio (0,90 a 2,60 μm) o elemento que exerce grande influência sobre a reflectância da vegetação é o conteúdo de água da folha. Quanto maior for a quantidade de água no interior da folha, menor será a sua reflectância nesta região espectral. Assim, em problemas de deficiência hídrica, nos quais ainda não se tenha caracterizado uma possível degradação de pigmentos ou uma significativa alteração da estrutura interna das folhas, esperam-se alterações na reflectância referente à região do infravermelho médio. Meyers (1983), em sua revisão, mostrou que plantas as quais foram cultivadas em ambientes salinos, apresentaram um parênquima paliádico mais desenvolvido, menos cloroplastos e clorofila, menores espaços intercelulares e menos estômatos por unidade de área, acarretando redução na reflectância e aumento na transmitância, comparado com folhas não afetadas. Folhas estressadas apresentaram um arranjo de células mais compacto, o que implicou numa menor reflectância na região do infravermelho.

2.2.2 Vegetação estressada em produtos de sensoriamento remoto

Para o caso da observação de composições coloridas de imagens orbitais compostas com as bandas 3, 4 e 5 do sensor TM, por exemplo, (regiões do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente), sendo atribuídos os filtros azul (banda 3), verde (banda 4) e vermelho (banda 5), o padrão da vegetação sadia apresenta-se com a cor verde, uma vez que é na banda 4 que ocorre o máximo da reflectância desta vegetação. Caso ocorra alguma alteração na reflectância nesta região espectral, no sentido de diminuí-la, a participação do filtro verde tenderá a diminuir, o que acarretará na mudança da cor da vegetação na imagem. Importante ressaltar que essa alteração no padrão da vegetação na imagem só será possível se a diminuição da reflectância mencionada atingir valores compatíveis à resolução radiométrica do sensor TM.

Com relação à segunda questão formulada por Murtha (1978), considera-se que um patógeno ou agente pode produzir vários tipos de danos e ter uma variedade de causas que podem ou não estarem relacionadas entre si; e que os efeitos de um dado patógeno ou agente sobre a reflectância espectral da vegetação podem não ser conhecidos.

Murtha (1978) sugeriu o uso de chaves de interpretação para auxiliar os trabalhos de interpretação de danos quando não se dispõe de um conhecimento prévio suficiente do problema. Suas proposições foram fundamentadas nas alterações de ordens morfológica e fisiológica e nas suas conseqüências sobre a reflectância

espectral da vegetação. O autor sugeriu ainda a adoção de técnicas de realce de imagens orientadas pelo conhecimento do tipo de manifestação do dano, das suas conseqüências sobre a reflectância espectral da vegetação e sobre seus efeitos sobre os padrões presentes em fotografias aéreas ou imagens orbitais.

A resposta à segunda pergunta formulada por Murtha (1978) inclui a combinação do conhecimento prévio sobre o fenômeno em si, o uso de chaves de interpretação e o uso racional de técnicas de realce de imagens. Olson (1977) salientou que a detecção de estresses na cobertura vegetal, antes desse ser detectado visualmente, constitui o principal interesse dos profissionais que atuam no setor florestal em todo o mundo. O autor mencionou também que a pré-deteção do ataque, tomando como base a ocorrência de estresses na vegetação, seria viável com a utilização de imageadores multispectrais. Contudo os primeiros esforços neste sentido não alcançaram os resultados desejados.

Thorley et al. (1975) seguiram a abordagem tradicional para a detecção de vegetação danificada, discutindo separadamente os diversos agentes, tais como aqueles que afetam folhas, raízes, galhos e insetos desfolhadores. A principal limitação desta abordagem reside no fato de que um mesmo agente pode provocar muitas manifestações de danos, o que dificulta a identificação de um dano específico. Ciesla (1977) mencionou que intérpretes treinados foram capazes de identificar árvores mortas daquelas ainda hospedadas por um patógeno observando pequenas diferenças na tonalidade de vermelho em fotografias tomadas com filmes colorido normal. Neste caso o conhecimento prévio destes intérpretes foi bem adaptado a um problema específico.

Com relação à terceira e última pergunta formulada por Murtha (1978), a avaliação de danos envolve a contagem de indivíduos doentes, atacados e/ou estressados, a determinação de área de ocorrência do dano, a estimativa de queda de produção decorrente do dano, a estratificação da área de acordo com a intensidade do dano e multiplicar a área de várias intensidades de dano por volumes pré-determinados.

Estes tipos de avaliação mencionados acima são usados em inventários (quanto e aonde) e em monitoramentos (deteção de alterações). Nos primeiros ganham importância os produtos de sensoriamento remoto que possuem boa precisão cartográfica e boa resolução espacial, incluindo as fotografias aéreas verticais. Já os trabalhos de monitoramento exigem uma maior frequência de aquisição de dados (maiores resoluções temporais) sobre uma mesma área geográfica.

Na literatura os trabalhos que utilizaram as técnicas de sensoriamento remoto em estudos de fitossanidade

concentraram-se no uso de fotografias aéreas verticais e de imagens orbitais dos sensores MSS (Multispectral Scanner Subsystem), TM (Thematic Mapper) e HRV (High Resolution Visible), colocados à bordo dos satélites da série Landsat e SPOT, respectivamente. Na maioria destes trabalhos foram apontadas algumas limitações das fotografias aéreas, no que se refere à sensibilidade espectral dos filmes fotográficos disponíveis, que nem sempre atendem às necessidades específicas de um determinado estudo. Estas limitações poderiam ser contornadas pelo uso das imagens orbitais dos sensores imageadores supra mencionados que permitem a obtenção de dados em diferentes regiões espectrais. Contudo as resoluções espacial, espectral e radiométricas destas imagens têm apresentado limitações para estes estudos.

Nelson (1983) analisou alterações na reflectância espectral de dosséis florestais através do uso de técnicas de processamento digital de imagens orbitais do sensor MSS. Em seu trabalho, o autor fundamentou-se no ataque de um inseto à uma área florestal composta basicamente por "Oak-hickory", comparando o desempenho de transformações de bandas (razão entre bandas, imagens diferença e índice de vegetação) na identificação e posterior mapeamento das áreas atacadas. Seus resultados indicaram a real possibilidade de mapeamento apenas em áreas que apresentavam desfolhamento intenso. O principal motivo para este fato foi a baixa resolução espacial das imagens MSS. Resultados semelhantes foram obtidos por Hall e Still (1983).

O uso de imagens orbitais para trabalhos dessa natureza apresenta limitações impostas não só pelas ambiguidades já mencionadas, e que não são exclusividade deste nível de aquisição de dados, como também pela ação da atmosfera sobre o sinal captado pelo sensor à bordo do satélite. Neste caso, correções devem ser aplicadas às imagens no sentido de minimizar essa influência, as quais nem sempre atingem um grau satisfatório de sucesso devido à dificuldade de determinação de dados referentes à calibração dos detetores no instante da obtenção da imagem. Normalmente são utilizados dados de pré-lançamento para essa calibração. Robinove (1982) mencionou que se um estudo envolver o uso de imagens de uma mesma área, mas obtidas em diferentes períodos de tempo, o uso dos números digitais não constitui um procedimento adequado, sendo necessária a transformação destes números em radiância ou reflectância. O autor salientou ainda a importância e as dificuldades da atenuação do efeito da atmosfera sobre os valores destas grandezas físicas.

Chavez (1988) propôs um método destinado à atenuação da atmosfera fundamentado no conhecimento prévio da reflectância de um objeto presente na imagem

que se pretende corrigir. Para a região do visível, normalmente são consideradas as sombras de nuvens ou do próprio relevo como objetos de comparação. Nas áreas abrangidas por elas, são esperados valores digitais baixos (próximos de zero). Para a região do infravermelho, são utilizados os espelhos d'água, analogamente às sombras para a região do visível. Epiphânio e Formaggio (1988) descreveram os passos para a aplicação do método proposto por Chavez (1988), nos quais está incluída a transformação das imagens contendo os números digitais em imagens reflectância. Através das sombras e espelhos d'água, são determinados os valores de reflectância que deverão ser subtraídos de toda a imagem, completando assim o procedimento de atenuação do efeito da atmosfera.

Pelo exposto anteriormente pode ser verificado que a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto em estudos de fitossanidade apresenta potencialidades e limitações, sendo necessária a adequação de metodologias e procedimentos para cada caso abordado.

2.3 Sintomas do ataque da vespa da madeira (*Sirex noctilio* Fabricius)

Segundo Iede et al (1994), o *Sirex noctilio* é essencialmente uma praga secundária oportunista. Seu controle deve ser efetuado através de práticas de manejo florestal. Os plantios mais susceptíveis ao ataque deste inseto são os de Pinus que possuem entre 10 e 25 anos de idade e apresentam algum tipo de estresse. Povoamentos sem desbastes são mais susceptíveis do que os desbastados. O inseto debilita as plantas devido a injeção de um muco fitotóxico e esporos de um fungo simbiote *A. areolatum* no alburno, durante a ovoposição. Este fungo patogênico, fonte de nutrientes para as larvas do inseto, seca e causa a podridão na madeira, além de afetar a qualidade da tora pela atividade das larvas que constroem galerias e pela penetração de agentes secundários que danificam-na, limitando o seu uso, ou tornando-a imprópria para o mercado. Os sintomas de ataque começam a aparecer logo após os picos populacionais do inseto que ocorrem nos meses de novembro e dezembro, sendo mais visíveis a partir do mes de maio. Os sinais externos mais visíveis são: progressivo amarelecimento da copa, que posteriormente torna-se marrom-avermelhada, esmorecimento da folhagem, perda das acículas e respingos de resina na casca.

3 Material e Métodos

3.1 Área de estudo

A escolha da área de estudo fundamentou-se na disponibilidade de informações sobre a ocorrência de ataques da Vespa-da-madeira e sobre as práticas silviculturais e profiláticas adotadas após a constatação

dos ataques e ainda na disponibilidade de imagens orbitais TM/Landsat livres de nuvens. Parte destas informações foram adquiridas junto ao Centro Nacional de Pesquisas Florestais da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (CNPQ /EMBRAPA), localizado no município de Colombo (Pr).

Foi então definida a área geográfica abrangida pelas Fazendas Santa Luzia, São Carlos e São Pedro, todas de propriedade da Agropecuária Batistella, S/A, e à Fazenda Negrinha, da Papel e Celulose Catarinense S/A. A referida área encontra-se situada no quadrilátero limitado pelas coordenadas: latitude 27° 30' S e longitude 49° 45' W, e latitude 27° 50' S e longitude 49° 30' W.

O relevo da região é classificado como montanhoso, com sua cobertura vegetal composta por florestas sub-tropicais altas com Araucária e campos. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo *Cfb* (mesotérmico úmido com verão fresco) característico dos trechos mais elevados do planalto do Estado de Santa Catarina.

Das áreas totais destas fazendas, foram consideradas somente aquelas ocupadas por plantios de Pinus, uma pequena porção da floresta sub-tropical com Araucária e uma área de campo, as quais foram individualizadas sob a forma de polígonos para facilitar o processamento e a posterior análise de dados. A Tabela 3.1 apresenta a numeração de cada polígono e seu conteúdo temático.

Foram incluídas as áreas de floresta sub-tropical e de campo para comparação com aquelas referentes aos plantios de Pinus, uma vez que ambas não sofreriam o ataque do inseto.

Tabela 3.1 - Numeração e conteúdo temático de cada polígono.

Polígonos	Conteúdo temático
1	Pinus da Faz. S.Carlos
2	Pinus da Faz. S.Luzia
3	Pinus da Faz. S.Luzia
4	Pinus da Faz. S.Luzia
5	Pinus da Faz. Negrinha e São Pedro
6	Pinus das Faz. Negrinha e São Pedro
7	Floresta Sub-tropical
8	Campo

3.2 Imagens orbitais e cartas topográficas

A seleção das imagens orbitais levou em consideração a localização geográfica da área de estudo e principalmente os períodos nos quais não havia ainda sido constatada a presença do inseto nos plantios e aqueles a partir dos quais os ataques passaram a ser monitorados em condições de campo. A Tabela 3.2

apresenta uma relação contendo as imagens, bandas e passagens consideradas:

Tabela 3.2 - Imagens, bandas e passagens consideradas

Órbita/Ponto	Bandas TM	Passagens
220/79 C (-4)	3, 4, 5 e 7	27/03/88
220/79 C (-4)	3, 4, 5 e 7	08/08/90
220/79 C (-4)	3, 4, 5 e 7	10/06/92
220/79 C (-4)	3, 4, 5 e 7	15/07/93

Em 1988 não havia sido constatada a presença do inseto nos plantios de qualquer uma das fazendas. A partir de 1989 foram detectados índices de ataque que decresceram a partir de 1990 com a adoção de medidas de controle biológico.

As cartas topográficas foram utilizadas para identificação das sedes das fazendas, uma vez que as informações fornecidas estavam disponíveis por fazenda e não por plantio, ou por polígono. Desta forma foi necessária a atribuição de um polígono ou polígonos às áreas das fazendas. A Tabela 3.2 apresenta uma relação das cartas topográficas utilizadas:

Tabela 3.2 - Cartas topográficas utilizadas

Nome da carta	Folha	MI
Petrolândia	SG-22-Z-C-VI-2	2907/2
Águas brancas	SG-22-Z-C-VI-4	2907/4

3.3 Correção geométrica

Da imagem referente à passagem de 27/03/88, foi composto um módulo cobrindo parcialmente a área total das quatro fazendas mencionadas, mas incluindo integralmente as suas áreas ocupadas pelos plantios de Pinus. Este módulo foi então considerado como base na elaboração daqueles referentes às demais passagens, ou seja, todas as demais imagens foram “registradas” sobre aquela da passagem de 27/03/88. Três novos módulos foram concebidos, coincidentes espacialmente com o primeiro.

Esta operação foi realizada no aplicativo denominado Sistema Interativo de Tratamento de Imagens (SITIM), desenvolvido pelo INPE, em sua função “Registro de imagens”. Cada passagem subsequente àquela de 27/03/88 foi registrada independentemente através da identificação de pontos de controle. Os pontos identificados para o registro de uma imagem não foram necessariamente os mesmos no registro das outras imagens.

A conclusão da operação de registro das imagens foi considerada satisfatória quando tanto o desvio vertical, quanto o horizontal apresentavam-se abaixo de 0,8 pixels.

3.4 Valores de reflectância e atenuação do efeito da atmosfera

Uma vez registradas as imagens, procedeu-se a elaboração do cálculo dos valores de reflectância para cada uma das imagens (bandas e passagens). Para tanto, foi utilizado um programa computacional denominado “Reflete”, cujo algoritmo leva em consideração os dados de calibração do sensor (pré-lançamento), ângulos de iluminação e os próprios valores de radiância extraídos dos números digitais das imagens.

Foram obtidas imagens ditas *imagens reflectância* referentes à todas as cinco bandas TM consideradas, nas quais os seus número digitais foram transformados em valores de reflectância.

Seguiu-se a correção radiométrica destas imagens com o objetivo de atenuar o efeito da atmosfera sobre os valores de radiância medidos pelo sensor orbital TM. Para tanto, foi adotado o método proposto por Chavez (1988), fundamentado na reflectância conhecida de objetos existentes na superfície terrestre. Para a imagem referente à banda da região do visível (banda TM 3), foram pesquisados os valores de reflectância (nas imagens reflectância) das áreas ocupadas por sombras provocadas pelo relevo e por nuvens. Considerou-se que estes valores deveriam estar próximos de zero, e que caso não estivessem, a diferença seria atribuída ao efeito da atmosfera sobre a radiação eletromagnética detectada pelo sensor TM. Esta diferença foi então subtraída de toda a imagem.

Para as imagens referentes às bandas do infravermelho próximo e médio (bandas TM 4, 5 e 7), optou-se pela identificação de áreas ocupadas por água (espelho d’água). Análogamente, esperava-se nestas áreas também valores próximos de zero nestas três bandas espectrais, e a não ocorrência deste fato foi também atribuída à interferência da atmosfera. A diferença foi também subtraída de toda a imagem. Importante salientar que a identificação desta diferença foi feita para cada imagem separadamente. A Tabela 3.3 apresenta os valores de reflectância que foram subtraídos das imagens para cada banda e passagem.

Tabela 3.3 - Valores de reflectância subtraídos das imagens devido ao efeito da atmosfera.

Bandas	27/03/88	08/08/90	10/06/92	15/07/93
3	6%	6%	7%	7%
4	2%	4%	2%	2%
5	5%	5%	1%	2%
7	0%	0%	0%	0%

Uma vez concluída esta etapa de subtração de valores de reflectância, foi gerada uma nova imagem resultante da razão entre as imagens das bandas 4 e 3, a qual foi denominada de *imagem índice*, cujos dados constituíram a base de comparação com aqueles referentes aos ataques do inseto.

3.5 Valores de reflectância médios por polígono

Ainda utilizando o aplicativo SITIM, na sua função “Delimitação de áreas”, foram individualizados os polígonos referentes aos plantios de Pinus segundo a uniformidade apresentada pelos padrões destes plantios, numa composição colorida elaborada com as imagens das bandas 3, 4 e 5, com os filtros azul, vermelho e verde, respectivamente; da passagem de 1988.

Foram identificados 6 polígonos nas áreas de Pinus e mais dois outros em uma área da floresta sub-tropical de Araucária e uma área de campo coberto por vegetação herbácea, os quais receberam cores diferentes para facilitar a determinação dos valores médios das reflectâncias de cada um individualmente, e em cada uma das passagens consideradas. Foi elaborada uma *máscara* contendo então os limites preenchidos de cada polígono, a qual foi então sobreposta às imagens das demais passagens.

Utilizando a função do SITIM denominada “Operações aritméticas”, foi possível determinar a média dos valores de reflectância de cada um dos polígonos nas quatro passagens e nas cinco bandas consideradas. Estes valores médios foram então representados na forma gráfica para facilitar a análise.

3.6 Ataque do inseto

Os dados referentes aos ataques dos insetos estavam disponíveis por fazenda, e fundamentados em observações de campo realizadas pelos próprios administradores locais. A Tabela 3.4 contém os dados referentes ao número de árvores atacadas nas fazendas Santa Luzia, São Carlos e São Pedro, no período compreendido entre os anos 1989 e 1993.

Na fazenda Negrinha, foi detectado um percentual de ataque que a partir de 1990 apresentou um valor médio de 10%, com uma variação de 0,5% à 20% nos talhões. Estes percentuais foram decrescendo, atingindo um valor médio de 1,0% em 1993.

Tabela 3.4 - Número de árvores atacadas pelo inseto em três das fazendas.

Anos	Santa Luzia	São Carlos	São Pedro
1989	833	945	725
1990	827	845	721
1992	822	522	505
1993	325	394	361

Procurou-se identificar tendências nos índices de vegetação que pudessem estar relacionadas ao ataque do inseto. Assim, em relação à imagem de 1988, quando não havia sido detectada a presença do inseto nos plantios, esperava-se uma diminuição dos valores dos números digitais da imagem índice das demais passagens nas áreas ocupadas pelos plantios de Pinus, devido a ocorrência dos sintomas descritos por Iede et al. (1994) (amarelecimento da copa, perda de acículas e esmorecimento da folhagem).

3.7 Desbastes e dados meteorológicos

Os desbastes são realizados nos plantios com o objetivo de diminuir a competição entre os indivíduos arbóreos, minimizando assim problemas relacionados a estresses, e consequentemente a susceptibilidade dos plantios ao ataque de pragas e doenças. Após a detecção da presença da vespa-da-madeira nos plantios de Pinus do sul do país, a prática dos desbastes foi intensificada visando tornar esses plantios menos susceptíveis aos seus ataques.

Uma vez que a prática de desbastes nos plantios também acarreta a diminuição da biomassa florestal, e que esta diminuição poderia ser confundida com o efeito do ataque do inseto, optou-se em considerar os períodos de realização destes desbastes nos plantios. A Tabela 3.5 contém os períodos de realização de desbastes em cada uma das fazendas.

Tabela 3.5 - Períodos de realização dos desbastes nos plantios das fazendas

Anos	Negrinha	Santa Luzia	São Carlos	São Pedro
1982		1º Desbaste	1º Desbaste	1º Desbaste
1986				2º Desbaste
1988	1º Desbaste		2º Desbaste	
1991				3º Desbaste
1993	2º Desbaste	2º Desbaste	3º Desbaste	

Segundo informações fornecidas pelos responsáveis pelas atividades de manejo destas fazendas, os desbastes são conduzidos ao longo de todo o ano, não sendo possível precisar as intensidades destes desbastes em termos mensais. Na fazenda Negrinha, por exemplo, em 1988 a densidade média dos plantios era de 1890 árvores por ha. Após o desbaste neste ano, a densidade passou para 1000 árvores por ha. Já em 1993, após o desbaste, a densidade passou para 600 árvores por ha.

Fatores meteorológicos também exercem influência no desenvolvimento da vegetação, assim como podem provocar a ocorrência de estresses (Murtha, 1978). Foram adquiridos dados referentes às médias mensais de precipitação e temperatura dos anos referentes às passagens das imagens consideradas. Estes dados encontram-se apresentados na Figura 3.2.

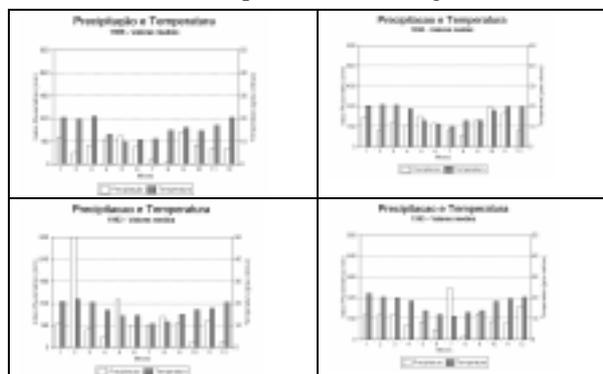


Fig. 3.2 - Precipitação e temperaturas médias registradas na área de estudo no período de tempo compreendido de 1988 à 1993.

Observando os gráficos apresentados na Figura 3.2, verifica-se que o ano de 1988 apresentou um nível ligeiramente inferior de precipitação no mes de fevereiro, em relação aos demais anos. Em 1992 os índices de precipitação foram ligeiramente elevados em relação aos demais anos e em 1993 houve um nível de precipitação também elevado no mes de julho. Quanto às temperaturas, estas não apresentaram variações atípicas ao longo do período de tempo em questão.

3.8 Interpretação visual das imagens

As imagens originais (não transformadas para valores de reflectância) das quatro passagens foram analisadas visualmente através do aplicativo SITIM. Foram aplicadas técnicas de realce linear nas bandas TM3, TM4, TM5 e TM7, visando ampliar o contraste entre os padrões existentes. Foram elaboradas duas composições coloridas com combinações destas bandas, após a aplicação dos realces, sendo uma composta pelas bandas TM3, TM4 e TM5 e outra composição pelas bandas TM3, TM4 e TM7.

Procurou-se identificar visualmente a ocorrência de padrões, nas áreas ocupadas pelos plantios de Pinus, que pudessem estar relacionados aos sintomas relatados por Iede et al. (1994) (amarelecimento da copa, esmorecimento da folhagem e perda de acículas), e ainda a ocorrência de desbastes.

4 Resultados e Discussão

4.1 Interpretação visual

Em todas as composições coloridas referentes às quatro passagens (1988, 90, 92 e 93), as áreas ocupadas por plantios de Pinus apresentaram-se com tonalidades uniformes, com algumas variações de intensidade ocasionadas pela movimentação do relevo. Não foram identificadas alterações nas imagens referentes às passagens de 1990, 92 e 93 que pudessem estar associadas aos sintomas descritos por Iede et al. (1994).

As áreas de campo apresentaram maiores variações de cor em relação às áreas de floresta sub-tropical e de Pinus. Estas variações devem estar associadas à fenologia.

4.2 Comparação entre os dados de ataque do inseto e os índices de vegetação

A Figura 4.1 mostra o gráfico referente aos valores médios dos índices de vegetação para cada um dos polígonos, para o período de 1988 à 1993.



Fig. 4.1 Valores médios dos índices de vegetação para cada polígono

Pelos dados referentes aos ataques do inseto, em 1988 os índices de vegetação deveriam referir-se à plantios não atacados. No ano de 1990, os níveis de ataque atingiram os maiores valores detectados (aproximadamente 10%) naqueles plantios e nos anos seguintes, estes níveis foram decaindo até valores considerados baixos (aproximadamente 1%), o que implicaria numa diminuição dos índices de vegetação em 1990, seguido de seu aumento nos anos seguintes. Pela análise dos dados apresentados no gráfico dos índices de vegetação da Figura 4.1, verifica-se esta tendência em todos os polígonos referentes aos plantios de Pinus, com exceção do polígono 2 que apresentou diminuição do índice de vegetação em 1993, em relação ao valor observado em 1992.

Este resultado poderia confirmar a possibilidade de uma relação entre as consequências dos ataques do inseto e os valores dos índices de vegetação, contudo, as mesmas tendências foram verificadas na floresta sub-tropical e no campo, áreas estas que não poderiam ser influenciadas pelo inseto, uma vez que todos os casos já relatados sobre sua ocorrência estavam relacionados à plantios de Pinus (Neumann et al., 1987).

4.3 Comparação entre a ocorrência dos desbastes e os índices de vegetação

No ano de 1988 foram realizados desbastes nas áreas das fazendas Negrinha e São Carlos (polígonos 5, 6 e 1, respectivamente); em 1991 foi realizado um desbaste na fazenda São Pedro (parte do polígono 6) e em 1993 foram realizados desbastes nas fazendas Negrinha, Santa Luzia e São Carlos (polígonos, 5, 6, 2, 3, 4 e 1, respectivamente), conforme mostrado na Tabela 3.5.

Uma vez que os desbastes acarretam diminuição de biomassa, essa diminuição poderia ser observada na variação dos valores dos índices de vegetação, o que não foi verificado. Sobre o parâmetro biomassa, os índices de vegetação indicaram que a floresta sub-tropical, bem como o campo, apresentaram valores inferiores de biomassa em relação aos plantios de Pinus. O polígono 2 apresentou valores ligeiramente inferiores dos índices de vegetação em relação aos demais polígonos referentes aos plantios.

4.4 Comparação entre os dados meteorológicos e os índices de vegetação

Considerando a data de aquisição de cada uma das imagens (vide Tabela 3.2), verifica-se que somente a imagem de 1988 foi adquirida no final do período chuvoso. Todas as demais foram adquiridas nos meses de inverno, quando os índices de precipitação e temperatura são mínimos. Este fato poderia explicar a diminuição dos valores dos índices de vegetação no ano de 1990, em relação ao ano de 1988. Em 1992, foram constatados níveis de precipitação atípicos (superiores) nos meses de fevereiro e maio, em relação aos anos de 1988 e 1992. Isto poderia explicar o ligeiro aumento do índice de vegetação no ano de 1992, em relação ao ano de 1990, verificado em todos os polígonos. Finalmente em 1993 os níveis de precipitação e de temperatura mantiveram-se regulares ao longo do ano, com exceção do mês de julho, quando foi detectado um elevado índice de precipitação para este período do ano, o qual foi coincidente com aquele da aquisição da imagem (15/07/93). Por se tratar de média mensal, não houve como precisar se este elevado nível de precipitação foi ocasionado por chuvas dispersas ao longo do mês ou concentradas em alguns dias. Assim, ficou prejudicada a atribuição da dinâmica dos valores dos índices de vegetação à esse fator meteorológico neste ano.

Analisando os índices de vegetação para o polígono 8 (Campo), verifica-se que aqueles referentes aos anos de 1990, 1992 e 1993 foram inferiores àquele de 1988, o que comprovaria a relação entre os índices e os fatores meteorológicos. Towshend e Justice (1986), comprovaram a relação do índice de vegetação, determinado a partir de dados NOAA, com o crescimento da vegetação campestre coincidente com o período de chuvas. Santos e Shimabukuro (1993) utilizaram imagens índice de vegetação, também geradas a partir de dados NOAA, referentes ao período de janeiro a dezembro de 1990 para monitorar a fenologia dos cerrados. Os resultados foram comparados com dados de precipitação obtidos para o mesmo período. As tendências das curvas dos índices de vegetação foram as mesmas daquelas apresentadas pelos dados de precipitação. Os autores ressaltaram ainda que o índice foi sensível a um período excepcional de deficiência hídrica que ocorreu durante o período chuvoso do ano.

Em se tratando de plantios de Pinus e demais coberturas vegetais de porte florestal, as variações fenológicas (sazonais) são mais sutis, mas podem ser detectadas através de sensores remotamente situados. Trabalhos como os de Tucker et al. (1985) atribuíram a variação sazonal do índice de vegetação (determinados a partir de dados NOAA) de florestas tropicais pluviais do Zaire, às variações de biomassa da própria floresta em resposta ao padrão de precipitação. Justice et al.

(1985) analisaram curvas de índice de vegetação (dados NOAA) relativos às florestas tropicais pluviais da Amazônia e à Mata Atlântica na Bahia, e comprovaram a pouca variação destes índices ao longo do ano.

Considerando os valores de reflectância das bandas 5 e 7, as quais são sensíveis ao conteúdo de água do solo e folhas, a área de campo (polígono 8) apresentou uma maior correspondência com os dados de precipitação do que as áreas de Pinus e de floresta subtropical, conforme pode ser observado na Figura 4.2.

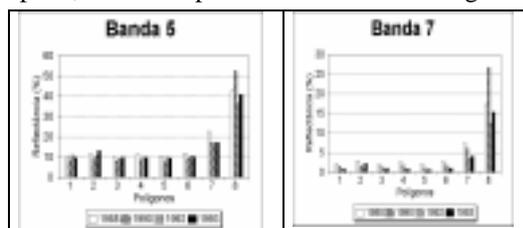


Fig. 4.2 Valores de reflectância para as bandas 5 e 7.

As áreas ocupadas por Pinus apresentaram uma relativa uniformidade nos valores de reflectância em ambas as bandas, indicando pouca variação do conteúdo de umidade das acículas ao longo do período de tempo considerado.

5 Conclusões e Recomendações

Não foi possível identificar os efeitos causados pelos ataques da vespa-da-madeira nos plantios de Pinus nas imagens TM/Landsat, tanto através da técnica de interpretação visual de imagens, quanto através da análise das variações dos índices de vegetação.

As variações nos valores dos índices de vegetação das imagens, mostraram-se incoerentes com as reduções de biomassa ocasionadas pelos desbastes, ou seja, não foi possível relacionar a diminuição da biomassa com a redução dos índices de vegetação das imagens TM.

As variações das condições meteorológicas, em especial a precipitação, ao longo de cada ano, aparentemente apresentaram uma correspondência com as variações dos índices de vegetação. Contudo, uma conclusão mais definitiva poderia ser fornecida se os dados diários de precipitação fossem disponíveis, a fim de relacionar médias mensais de precipitação obtidas antes do período de aquisição das imagens.

Trabalhos futuros devem incluir dados de campo que comprovem a ocorrência de indivíduos arbóreos que apresentem os sintomas descritos por Iede et al. (1994), bem como suas distribuições geográficas. Ainda, devem incluir dados mais específicos sobre os desbastes realizados, seus percentuais e formas de realização.

Referências

Agrios, G.N. *Plant pathology*. New York. Academic Press. 629p. 1969.

- Chavez, P.S.Jr. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24: 459-479, 1988.
- Ciesla, W.M. Color vs color-ir photos for forest insect surveys. In: *Proceedings of 6th Biennial Workshop Aerial Color Photography in Plant Science*. American Society of Photogrammetry & Remote Sensing. Colorado State University. pp.31-42, 1977.
- Epiphânio, J.C.N.; Formaggio, A.R. Abordagens de uso de número digital e de reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélites. In: *V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal RN. Outubro, 1988. pp. 400-405.
- Hall, R.J.; Still, G.N. Mapping the distribution of aspen defoliation using Landsat color composite. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2(2): 86-91, 1983.
- Iede, E.T.; Penteadó, S. Gaiad, D.; Silva, S.M.S da. A ocorrência mundial da praga *Sirex noctilio*. *Silvicultura*, 56: 20-26. 1994.
- Justice, C.O.; Townshend, J.R.G.; Holben, B.N.; Tucker, C.J. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 6(8): 1271-1318, 1985.
- Kumar, R. Radiation from plants, reflection and emission: a review. Lafayette, Indiana. Purdue Research Foundation. *Research Project n° 5543*, 1972, 88p.
- Lillesand, T.M.; Brock, R.H.; Roberts, J.L.; Johnson, W.L. Tree stress detection through spectral rationing of color film records. In: *Proceedings of 5th Biennial Workshop in Color Aerial Photography in Plant Science*. American Society of Photogrammetry. Falls Church, Va. pp. 79-107, 1975.
- Meyers, V.I. Crops and soils. In: *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, Va. pp. 1715-1813, 1983.
- Murtha, P.A. A guide to air photointerpretation of forest damage in Canada. *Canadian Forestry Service Publ. n° 1292*, 1972.
- Murtha, P.A. Remote sensing and vegetation damage: a theory for detection and assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 44(9): 1147-1158, 1978.
- Nelson, R.F. Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 49(9): 1303-1314, 1983.
- Neumann, F.G.; Mmorey, F.L.; McKimm, R.J. The Sirex wasp in Victoria. Melbourne, Australia. Lands and Forests Division. Dept. of Conservation, Forests and Lands. *Bulletin n° 29*, 1987.
- Novo, E.M.de M. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. São Paulo. Editora Büchler. 308 p.,1989.
- Olson, C.E.Jr. Pre-visual detection of stress in pine forests. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 11., Ann Arbor, Proceedings ERIM, p. 933-944, 1977.
- Robinove, C.J. Computation of physical values from Landsat digital data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(5): 781-784, 1982.
- Santos,J.R.; Shimabukuro, Y.E. O sensoriamento remoto como indicador das fenofases dos cerrados brasileiros: estudo de caso com dados AVHRR/NOAA. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 7. Curitiba, Maio 10-14, 1993. *Anais*. São José dos Campos, INPE, 1993, v.2, p.249-257.
- Townshend, J.R.G.; Justice, C.O. Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11): 1435-1445, Nov. 1986.
- Thorley, G.E. Forest lands: inventory and assessment. In: *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, Va. American Society of Photogrammetry. 2144pp., 1975.
- Tucker, C.J.; Towshend, J.R.G.; Goff,T.E. African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227(4685): 369-375, Jan. 1985.