

AVALIAÇÃO DO USO DE DADOS TM/LANDSAT NA IDENTIFICAÇÃO DE PLANTIOS DE *Eucalyptus* spp. DEFICIENTES EM POTÁSSIO¹

Flávio Jorge Ponzoni² e José Leonardo de Moraes Gonçalves³

RESUMO - Foram utilizadas imagens TM/Landsat referentes à parte da Fazenda Morro de Ouro, localizada no município de Botucatu-SP, de propriedade da empresa Duratex Florestal S.A., ocupada por plantios de *Eucalyptus* spp. que apresentavam sintomas de deficiência de K. Na seleção das imagens, levou-se em consideração uma data concomitante ao aparecimento dos sintomas (detectados em campo) e outras duas datas nas quais tais sintomas já haviam desaparecido. As imagens foram transformadas em imagens-reflectância e homogeneizadas quanto ao aspecto radiométrico. Foram comparados os valores de reflectância aparente (VRA) extraídos de plantios deficientes e não-deficientes em K. Os resultados indicaram a inviabilidade do uso dos dados TM/Landsat na identificação de plantios deficientes em K, pelo menos para as condições deste trabalho.

Palavras-chave: Estresse em vegetação, caracterização espectral e reflectância espectral da vegetação.

EVALUATION OF TM/LANDSAT DATA IN THE IDENTIFICATION OF *Eucalyptus* spp. STANDS WITH POTASSIUM DEFICIENCY

ABSTRACT - TM/Landsat images from a forestry farm called Morro do Ouro, located in Botucatu (town in the State of São Paulo), whose owner is the Duratex Florestal S.A., were acquired, considering two different situations: in the first one, young *Eucalyptus* spp. stands presented deficiency symptoms of K (these symptoms were detected in field conditions) and in the second one, the symptoms disappeared. The images were transformed in apparent reflectance images and they were also radiometrically normalized. The apparent reflectances collected from the K stressed stands and from the non-stressed ones were compared. Results showed that the orbital data were not efficient for this of identification, at least under the conditions considered in this work.

Key words: Vegetation stress, spectral characterization, spectral reflectance of vegetation.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a grande maioria das florestas implantadas com o gênero *Eucalyptus* spp. encontra-se localizada em regiões com deficiências hídricas e sobre solos de baixa fertilidade. Carên-

cias de N, P e K nos reflorestamentos são muito comuns, redundando em significativas perdas de produtividade dos plantios.

O diagnóstico de deficiências nutricionais tem sido corriqueiramente realizado mediante análises de solo e de plantas, o que, dependendo da

¹ Recebido para publicação em 2.5.1997.

Aceito para publicação em 25.9.1997.

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, Divisão de Sensoriamento Remoto, Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos-SP. ³ Universidade de São Paulo-ESALQ/USP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Dep. de Ciências Florestais, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900 Piracicaba-SP.

extensão da área a ser avaliada, torna-se um procedimento oneroso e demorado. Neste contexto, novas tecnologias para delimitar áreas com deficiências de nutrientes, com agilidade e a custos menores, têm sido demandadas.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto com essa finalidade tem sido apontado como uma possível alternativa, apesar das limitações inerentes às resoluções espacial, espectral e radiométrica dos produtos gerados a partir da aplicação dessas técnicas (fotografias aéreas, imagens orbitais, dados radiométricos etc.), quando do interesse da identificação de alterações sutis no processo de interação da radiação eletromagnética com a vegetação.

As deficiências nutricionais em plantas acarretam alterações de ordem morfológica e, ou, fisiológica, ressaltando-se que para qualquer um dos tipos de alterações (morfológica ou fisiológica) são comuns os seus efeitos sobre a reflectância espectral da vegetação. Esses efeitos podem ser observados em folhas isoladas ou sobre o dossel, e suas caracterizações, via técnicas de sensoriamento remoto, são dependentes tanto da suas magnitudes espectrais e radiométricas, quanto do uso de instrumental adequado (resoluções espectrais, radiométricas e espaciais).

Especificamente sobre estresses ocasionados por deficiência mineral em plantas, MEYERS (1983) apresentou alguns resultados alcançados por outros autores, referentes a alterações na reflectância espectral de folhas submetidas a diferentes concentrações de sal e nutrientes. Estudos morfológicos mostraram que as plantas que haviam sido cultivadas em ambientes salinos apresentaram parênquima paliádico mais desenvolvido, menos cloroplastos e clorofila, menores espaços intercelulares e menos estômatos por unidade de área. Como consequência dessas alterações, verificaram-se modificações na reflectância da vegetação.

Quanto aos estudos referentes a estresses ocasionados por deficiência ou excesso de nutrientes, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, eles têm se restringido ao nitrogênio. Thomas

(1970) e Thomas e Oerther (1971), citados por MEYERS (1983), mencionaram que existe uma dependência entre a concentração de nitrogênio e as concentrações das clorofilas "a" e "b". Uma vez que estas últimas concentrações influenciam a reflectância espectral das folhas na região do visível, a presença e a quantidade de nitrogênio podem também ser estudadas por meio de análise de dados radiométricos.

DELL et al. (1995) elaboraram um atlas contendo os principais sintomas visualmente perceptíveis de deficiências de macro e micronutrientes em plantas do gênero *Eucalyptus* spp. Os sintomas referentes à deficiência de nitrogênio (N) foram descritos por esses autores como caracterizados pelo amarelecimento dos espaços internervais em folhas mais maduras. Em folhas mais jovens de *Eucalyptus globulus*, a camada cerosa acima da epiderme mascara os estágios iniciais da clorose. Com o tempo, o amarelecimento espalha-se por todas as folhas, que se tornam uniformemente amarelas. Em *Eucalyptus pellita*, as folhas mais velhas podem desenvolver pequenos pontos necróticos, com centros descorados e margens avermelhadas.

Para o caso de deficiência de fósforo (P), o primeiro sinal é o aparecimento de pequenas manchas avermelhadas internervais. Os centros de cada mancha tornam-se necróticos e, freqüentemente, amarronzados ou esbranquiçados. Os sintomas espalham-se das folhas velhas para as jovens.

A deficiência de potássio (K) foi descrita por esses autores como caracterizada por descoloração, seguida de necrose das margens das folhas mais velhas. Os autores ressaltaram ainda que os sintomas da deficiência de K variam muito de espécie para espécie. Em *Eucalyptus grandis*, frações do tecido internerval vão se tornando verde-pálidas, posteriormente avermelhadas e finalmente secam. Em *Eucalyptus pellita*, há o amarelecimento das laterais da nervura principal.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de imagens orbitais TM/Landsat na identificação de povoamentos de *Eucalyptus* spp. afetados pela deficiência de K.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Seleção da Área de Estudo e Imagens Orbitais

Optou-se por utilizar plantios jovens de *Eucalyptus* spp. da Fazenda Morro do Ouro, de propriedade da Duratex Florestal S.A., localizada no município de Botucatu-SP, plantios estes que no final do inverno do ano de 1992 apresentaram sintomas bastante evidentes de deficiências de K. Foram adotadas medidas de controle nutricional tão logo foram constatados os sintomas, e no verão de 1993 tais sintomas haviam desaparecido dos plantios.

Foram selecionadas três imagens TM/Landsat, da órbita/ponto 220/76 W, sendo uma referente a 30.9.1992 (período de ocorrência dos sintomas), outra a 9.3.1993 e outra a 26.4.1993 (ambas referentes ao período no qual os sintomas haviam desaparecido), nas bandas TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7. Essas imagens estavam disponíveis em formato digital, gravadas em fita Hexabyte 8 mm, e foram recortadas, procurando conceber módulos de mesmas dimensões (937 linhas e 788 colunas). Foram então concebidos três módulos, compostos por seis imagens (cada uma proveniente das seis bandas espectrais mencionadas), sendo cada módulo referente a cada uma das passagens.

2.2. Registro Imagem x Imagem

As imagens dos módulos de 30.9.1992 (K09) e de 26.4.1993 (K04) foram registradas sobre as imagens do módulo de 9.3.1993 (K03), uma vez que estas últimas apresentavam maior nitidez na visualização de pontos de controle. Toda a operação de registro, assim como todas as demais conduzidas nessa fase do trabalho, foi realizada mediante o uso de um aplicativo denominado PCI Easi Pace, versão 6.0. Nessa operação de registro imagem x imagem, foram identificados visualmente 11 pontos de controle, admitindo-se como erro para o ajuste valores aproximados a 0,5 pixel.

2.3. Retificação Radiométrica

Para elaborar a retificação radiométrica das imagens, foi utilizado o método preconizado por HALL et al. (1991), no qual se considera, para uma série temporal de imagens de mesma órbita/ponto, aquela imagem sobre a qual se dispõe de dados que permitam a correção do efeito atmosférico, que é a considerada como padrão, e todas as demais passam a ser corrigidas para se assemelhem à primeira. Esse algoritmo de retificação radiométrica é baseado em dois passos: 1) a aquisição de um conjunto de dados de controle caracterizado pela baixa ou nenhuma variação em suas reflectâncias médias entre as imagens; 2) a determinação empírica dos coeficientes para transformação linear de todas as imagens, em relação aos dados de referência. Os dados de controle são compostos por pixels pertencentes às áreas não-vegetadas do espaço bidimensional de Kauth-Thomas (KT) "greenness-brightness": pixels escuros (dados radiométricos escuros de controle) e pixels claros (dados radiométricos claros de controle). O modelo usado na retificação é dado por um conjunto de transformações lineares, como a seguir:

$$T_i = m_i \cdot x_i + b_i$$

em que

T_i = valor de reflectância retificado para a banda i ;
 x_i = valor de reflectância da imagem original (não-retificada);

$$m_i = (Br_i - Dr_i) / (Bs_i - Ds_i);$$

$$b_i = (Dr_i \cdot Bs_i - Ds_i \cdot Br_i) / (Bs_i - Ds_i);$$
 e

Br_i é a média do conjunto de referência clara, Dr_i é a média do conjunto de referência escura, Bs_i é a média do conjunto claro a ser retificado e Ds_i é a média do conjunto escuro a ser retificado.

Uma vez que não se dispunha de dados que permitissem a correção do efeito da atmosfera de qualquer uma das imagens, optou-se por escolher aquela, dentre as três mencionadas, que apresentava nitidez maior, ou seja, a K03. Assim, as

demais imagens foram referenciadas radiometricamente sobre esta imagem. Operacionalmente, o procedimento iniciou-se com a transformação das imagens das três passagens para valores de reflectância aparente (VRA). Para tanto, foi utilizado um algoritmo, especialmente elaborado no aplicativo PCI Easi Pace, que leva em consideração o ângulo de incidência solar no momento de passagem do satélite e os valores de calibração dos detectores de cada banda espectral definidos na fase pré-lançamento. Originaram-se, portanto, 18 imagens de reflectância aparente (seis bandas para cada passagem). Em seguida, foram elaborados os gráficos “greenness e brightness” de cada uma das passagens, para serem definidos os valores dos pixels claros e escuros em cada um desses eixos (“greenness e brightness”). Definidos esses valores, o procedimento de retificação radiométrica foi conduzido por meio de um programa computacional especialmente elaborado. Como resultado, originaram-se 12 imagens (seis delas referentes à passagem K04 e as outras seis referentes à passagem K09), ditas retificadas. A retificação foi considerada satisfatória quando a diferença média entre os pixels escuros e claros das imagens, em relação às imagens-referência (K03), apresentou valores próximo a 1 (uma unidade).

2.4. Seleção de Amostras

Uma vez tendo as imagens retificadas, procedeu-se à seleção de amostras nas imagens. Para tanto, uma composição colorida elaborada com as imagens das bandas TM3B, TM4R e TM5G (imagens reflectância aparente), referente à passagem K09, foi visualizada na tela do computador. Orientando-se pelos mapas disponibilizados pela Duratex Florestal, procurou-se distribuir as amostras de tamanhos variáveis, mas muito próximos (+ ou - 16 pixels), sobre a área indicada que apresentava sintomas de deficiência a K. Essa área não apresentava homogeneidade de padrões tonais, apresentando pelo menos três diferentes padrões, os quais foram associados à “idade” dos

plantios ali localizados. Assim, foram definidos padrões para plantios ditos jovens, intermediários e densos, devendo-se ressaltar que os três padrões mencionados referiram-se a plantios sempre muito jovens. Ao redor desses plantios deficientes, foram identificados outros plantios, mais maduros, sendo um de *Pinus* spp., outro de *Eucalyptus* spp. e áreas ocupadas por vegetação nativa. Essas coberturas vegetais foram consideradas como referência na análise das tendências dos valores das reflectâncias aparentes.

Foram definidas dez amostras para cada um dos diferentes tipos de cobertura mencionados, as quais foram distribuídas, visualmente, sobre a extensão de cada uma dessas coberturas, totalizando, então, 60 amostras. De cada uma das amostras foram extraídos os valores médios dos VRA de cada uma das 18 imagens. Esses valores foram transferidos para uma planilha eletrônica, para aplicação das ANOVAs.

2.5. Análises de Variância e Teste de Médias

Foi concebida uma planilha que continha os VRA das amostras de cada um dos seis diferentes tipos de cobertura vegetal, seguindo-se a aplicação das ANOVAs para testar a existência de diferenças significativas entre os valores médios de reflectância aparente de cada um dos tipos de cobertura mencionados, em cada passagem individualmente e em cada uma das seis bandas espectrais. Ao encontrar valores significativos de F em nível de 5% de significância, seguiu-se a aplicação do teste de Tukey, no mesmo nível de significância, para diferenciação das médias. Os resultados foram comparados com os dados climáticos da região de Botucatu, caracterizados pelas médias mensais de precipitação e temperatura para os anos de obtenção das imagens (1992 e 1993). Posteriormente, foram aplicadas outras ANOVAs para cada tipo de cobertura, agora considerando como fonte de variação o tempo decorrido entre as passagens, procurando verificar a ocorrência de diferenças significativas entre os valores médios de reflectância aparente (VMRA),

ao longo do tempo. Neste caso, considerando que os plantios jovens de *Eucalyptus* spp. que apresentavam sintomas de deficiências de K somente os apresentavam na passagem K09, procurou-se solucionar a falta de plantios igualmente jovens do mesmo gênero, mas que não apresentassem tais sintomas nessa passagem. Os VMRA desses dois tipos de plantios foram então comparados estatisticamente. Assim, foram comparados os VMRA no período de existência dos sintomas com aqueles referentes ao período no qual eles já haviam desaparecido.

2.6. Índices de Vegetação

Foram determinados os Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para cada tipo de cobertura vegetal, em cada uma das três passagens (K09, K03 e K04). Esses índices foram determinados pela seguinte equação:

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$$

em que

IVP = valor médio de reflectância aparente da banda 4 (infravermelho próximo); e

V = valor médio de reflectância aparente da banda 4 (vermelho).

Os NDVI resultantes foram comparados com os dados médios mensais de precipitação e temperatura, mencionados anteriormente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de Variância e Teste de Médias

Os resultados das ANOVAs aplicadas para as imagens da passagem K09 (período de ocorrência dos sintomas de deficiências de K) indicaram que havia pelo menos um valor médio de reflectância aparente de algum tipo de cobertura vegetal que diferia significativamente dos demais. Assim, procedeu-se ao teste de Tukey, para identificação dessa diferenciação. Os resultados encontram-se apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Resultados da aplicação do teste de Tukey para as imagens da passagem K09
Table 1 - Tukey test results for K09 path images

| Banda 1 | T. Cob | Banda 2 | T. Cob | Banda 3 | T. Cob |
|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| 6,8595686 | jovem a | 6,6459608 | jovem a | 7,2287843 | jovem a |
| 6,0572549 | inter. b | 6,0474118 | inter. b | 5,9853333 | inter. b |
| 5,3143137 | mata c | 5,7188627 | mata c | 5,1940784 | mata c |
| 5,2025882 | denso c | 5,2516078 | denso d | 4,9705882 | denso c |
| 4,7854118 | pinus d | 4,8363137 | pinus e | 4,9564314 | pinus c |
| 4,5309412 | euca. d | 4,7251765 | euca. e | 4,6118039 | euca. d |
| Banda 4 | T. Cob | Banda 5 | T. Cob | Banda 7 | T. Cob |
| 24,895373 | denso a | 18,765765 | jovem a | 9,0054902 | jovem a |
| 23,030235 | inter. b | 15,053137 | inter. b | 5,6707059 | inter. b |
| 22,767294 | euca. b | 11,366 | denso c | 2,6633725 | denso c |
| 21,03051 | jovem c | 9,9908235 | mata d | 2,6541569 | mata c |
| 18,344235 | mata d | 7,1890196 | pinus e | 1,2464314 | pinus d |
| 16,93651 | pinus e | 6,3505098 | euca. f | 0,3239216 | euca. e |

Na coluna intitulada T.Cob. (tipo de cobertura), encontram-se relacionados os nomes abreviados dos tipos de cobertura considerados. As áreas ocupadas por plantios jovens deficientes em K foram denominadas **jovem**, **inter.** e **denso**, referentes a plantio bem jovem, intermediário e denso, respectivamente. As demais abreviaturas referem-se à vegetação nativa (**mata**), plantios de *Eucalyptus* spp. maduros (**euca.**) e a plantios também maduros de *Pinus* spp. (**pinus**). As letras "a", "b", "c", "d", "e" e "f" foram utilizadas para indicar quais tipos de cobertura apresentaram diferença significativa entre seus VRA. Vale ressaltar que esses valores médios encontram-se organizados em ordem decrescente.

Observando os dados contidos no Quadro 1, verifica-se que para as bandas da região do visível os plantios bem jovens de *Eucalyptus* spp. (**jovem** e **inter.**) apresentaram valores médios significativamente diferentes dos demais tipos de cobertura vegetal, o que indica uma possível maior participação do solo na reflectância aparente do dossel. Os plantios indicados como **denso** apresentaram VMRA ligeiramente inferiores, não diferindo significativamente dos valores da cobertura **mata** (banda 1), deste mesmo tipo, e do **pinus** (banda 3), o que evidencia que a estrutura desse dossel **denso** assemelhava-se mais àquelas da **mata** e do **pinus** no período de obtenção das imagens (K09). De acordo com resultados alcançados por PONZONI e GONÇALVES (no prelo), o esperado seria que os VMRA dos plantios de *Eucalyptus* spp. que apresentavam sintomas de deficiência de K deveriam ser significativamente inferiores, pelo menos em relação aos mesmos valores referentes aos plantios do mesmo gênero não-deficientes, o que não foi verificado. Outro aspecto relevante refere-se ao período sazonal de obtenção das imagens da passagem K09, que foi o mês de setembro. PONZONI e HERNANDEZ FILHO (1988) verificaram que imagens obtidas no período seco do ano apresentaram maior contraste entre fisionomias vegetais em uma área da planície pantaneira. A mesma tendência foi verificada por PONZONI (1996), quando analisou

a dinâmica de VRA em plantios de *Pinus*, ao longo de quatro anos, em diferentes períodos sazonais. Tal fato poderia explicar a ocorrência de diferenciação significativa entre os tipos de cobertura vegetal na passagem K09. Essa diferenciação também foi evidente nos VMRA referentes à região do infravermelho (bandas 4, 5 e 7). Na banda 4, o tipo de cobertura **denso** apresentou valores médios de reflectância significativamente superiores a todos os demais tipos de cobertura, o que indica ser este um dossel com pouca estratificação, característica peculiar de dosséis jovens de monoculturas florestais. Nas bandas 5 e 7, os tipos **jovem**, **inter.** e **denso** apresentaram valores médios superiores aos dos demais tipos de cobertura, o que se mostrou coerente, uma vez que esses tipos apresentavam menor densidade de folhas em relação aos demais.

Analogamente ao que foi feito com os VMRA das imagens da passagem K09, foi adotado o mesmo procedimento com as imagens nas sete bandas das passagens K03 e K04, cujos resultados encontram-se apresentados nos Quadros 2 e 3.

Esses resultados foram muito parecidos entre si, o que já era esperado, uma vez que as duas passagens em questão apresentavam uma defasagem temporal de apenas um mês, aproximadamente. Para as bandas do visível, verificou-se que o ordenamento dos valores médios dos tipos de cobertura vegetal foi praticamente o mesmo em ambas as passagens, com os tipos **jovem**, **mata** e **inter.** apresentando os maiores valores, seguidos dos tipos **pinus**, **denso** e **euca.** Para a banda do infravermelho próximo (banda 4), os plantios jovens de *Eucalyptus* spp. (**jovem**, **inter.** e **denso**) apresentaram valores médios mais elevados que os dos demais tipos de cobertura, indicando constituírem ainda dosséis com pouca estratificação vertical, em relação aos demais tipos. Para as bandas do infravermelho médio (bandas 5 e 7), o ordenamento dos valores médios foi semelhante àquele apresentado na passagem K09, destacando-se somente uma tendência de menor diferenciação estatística nas passagens K03 e K04.

Quadro 2 - Resultados da aplicação do teste de Tukey para as imagens da passagem K03

Table 2 - Tukey test results for the images of the K03 path

| Banda 1 | T. Cob | Banda 2 | T. Cob | Banda 3 | T. Cob |
|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 6,8377255 | jovem a | 5,5436863 | mata a | 4,0512157 | jovem a |
| 6,7499216 | mata ab | 5,4564314 | jovem ab | 3,9074118 | mata ab |
| 6,678941 | inter. bc | 5,2671373 | inter. b | 3,8668235 | inter. ab |
| 6,6108627 | pinus c | 4,8232157 | pinus c | 3,8194902 | pinus b |
| 6,6045882 | denso c | 4,8202353 | denso c | 3,4771373 | denso c |
| 6,4491765 | euca. d | 4,7111373 | euca. c | 3,3992941 | euca. c |
| Banda 4 | T. Cob | Banda 5 | T. Cob | Banda 7 | T. Cob |
| 33,458667 | jovem a | 13,362784 | jovem a | 2,914 | jovem a |
| 31,128275 | inter. b | 12,305608 | inter. b | 2,8230588 | mata a |
| 30,689569 | denso b | 12,264157 | mata b | 2,6086275 | inter. a |
| 29,737686 | euca. bc | 10,182941 | denso c | 1,5620784 | denso b |
| 26,938353 | mata c | 8,7064314 | pinus d | 1,5092941 | pinus b |
| 24,348039 | pinus d | 7,7344706 | euca. e | 0,8256863 | euca. c |

Quadro 3 - Resultados da aplicação do teste de Tukey para as imagens da passagem K04

Table 3 - Tukey test results for the images of the K04 path

| Banda 1 | T. Cob | Banda 2 | T. Cob | Banda 3 | T. Cob |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 6,336549 | jovem a | 5,300549 | jovem a | 3,998902 | jovem a |
| 6,3111765 | mata a | 5,2744706 | mata a | 3,9683529 | mata ab |
| 6,2156471 | inter. ab | 5,1822745 | inter. ab | 3,8036078 | pinus ab |
| 6,0961569 | pinus bc | 4,9689804 | pinus bc | 3,772 | inter. bc |
| 6,0465882 | euca. c | 4,8006667 | denso c | 3,5784314 | denso c |
| 6,0457255 | denso c | 4,7507843 | euca. c | 3,5631373 | euca. c |
| Banda 4 | T. Cob | Banda 5 | T. Cob | Banda 7 | T. Cob |
| 32,453176 | jovem a | 11,850745 | jovem a | 2,1223137 | mata a |
| 30,878314 | inter. ab | 10,851333 | inter. ab | 1,9150588 | jovem a |
| 29,568627 | denso b | 10,306353 | mata b | 1,1732157 | inter. b |
| 28,709059 | euca. b | 8,1731765 | denso c | 0,4412157 | denso c |
| 23,254078 | pinus c | 7,0738431 | pinus cd | 0,4226667 | pinus c |
| 23,212627 | mata d | 6,7553725 | euca. d | 0,0667843 | euca. c |

Comparando os resultados alcançados com as imagens da passagem K09 com aqueles alcançados com as imagens das passagens K03 e K04, verificou-se que para a região do visível os plantios bem jovens de *Eucalyptus* spp. (**jovem** e **inter.**), que na passagem K09 apresentaram tendência de distinguirem-se significativamente dos demais tipos de cobertura, com valores quase sempre superiores, tornaram-se menos distinguíveis entre si e entre os tipos **mata** e **pinus**. Os

tipos **denso**, **pinus** e **euca.**, apresentaram valores médios de reflectância inferiores aos dos demais temas, sendo também freqüentemente não-distinguíveis significativamente. Para a região do infravermelho próximo, verificou-se que os plantios bem jovens de *Eucalyptus* spp. mantiveram VMRA significativamente superiores aos dos demais tipos, contudo, passaram a ser confundidos entre si e com o tipo **mata**. O tipo **denso** apresentou ligeira queda em seu valor médio de reflectância

aparente, em relação aos demais tipos nas passagens K03 e K04, o que indica que houve uma possível alteração estrutural desse dossel, tendendo a torná-la mais semelhante ao tipo **euca**. Na região do infravermelho médio, os resultados foram muito semelhantes nas três passagens, destacando-se a maior similaridade entre os tipos **denso**, **pinus** e **euca.**, em relação à passagem K09.

A aplicação das ANOVAs para comparar os VMRA entre passagens para todos os tipos de cobertura vegetal indicou que somente para o tipo **euca.**, na banda 2, o valor de F não foi significativo em nível de 5% de significância. Seguiu-se, portanto, a aplicação do teste de Tukey, no mesmo nível de significância, para identificar a ocorrência

de diferenças significativas entre os VMRA, cujos resultados encontram-se apresentados no Quadro 4.

Convém salientar que a intenção aqui era a de avaliar a ocorrência de diferenças significativas entre os VMRA para um mesmo tipo de cobertura vegetal, ao longo das três passagens. A atenção deveria se concentrar sobre os plantios jovens de *Eucalyptus* spp. que apresentavam sintomas de deficiências de K em setembro de 1992 (K09). As ANOVAs estenderam-se sobre os demais tipos de cobertura, com o objetivo de comparar a ocorrência de diferenças significativas entre VMRA de tipos de cobertura que não apresentavam sintomas em qualquer das passagens com aqueles dos plantios jovens de *Eucalyptus* spp.

Quadro 4 - Resultados da aplicação do teste de Tukey para VMRA entre passagens para todos os tipos de cobertura vegetal

Table 4 - Tukey test results for the average apparent reflectance values between paths and for all kinds of vegetation cover

| | Banda 1 | | Banda 2 | | Banda 3 | | Banda 4 | | Banda 5 | | Banda 7 | |
|--------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| jovem=> | 6,85957 | K09 a | 6,64596 | K09 a | 7,22878 | K09 a | 33,4587 | K03 a | 18,7658 | K09 a | 9,00549 | K09 a |
| | 6,83773 | K03 a | 5,45643 | K03 b | 4,05122 | K03 b | 32,4532 | K04 a | 13,3628 | K03 b | 2,914 | K03 b |
| | 6,33654 | K04 b | 5,30055 | K04 b | 3,99890 | K04 b | 21,0305 | K09 b | 11,8507 | K04 c | 1,91506 | K04 c |
| inter.=> | 6,67894 | K03 a | 6,04741 | K09a | 5,98533 | K09a | 31,1283 | K03 a | 15,0531 | K09 a | 5,67071 | K09 a |
| | 6,21565 | K04 b | 5,26714 | K03 b | 3,86682 | K03 b | 30,8783 | K04 a | 12,3056 | K03 b | 2,60863 | K03 b |
| | 6,05725 | K09 b | 5,18227 | K04 b | 3,772 | K04 b | 23,0302 | K09 b | 10,3063 | K04 c | 1,17322 | K04 c |
| denso=> | 6,60459 | K03 a | 5,25161 | K09 a | 4,97059 | K09 a | 30,6896 | K03 a | 11,366 | K09 a | 2,66337 | K09 a |
| | 6,04574 | K04 b | 4,82024 | K03 b | 3,57843 | K04 b | 29,5686 | K04 b | 10,1829 | K03 b | 1,56208 | K03 b |
| | 5,20259 | K09 c | 4,80067 | K04 b | 3,47714 | K03 b | 24,8954 | K09 c | 8,17318 | K04 c | 0,44122 | K04 c |
| euca.=> | 6,44918 | K03 a | | | 4,61181 | K09 a | 29,7377 | K03 a | 7,73447 | K03 a | 0,82569 | K03 a |
| | 6,04659 | K04 b | | | 3,56314 | K04 b | 28,7091 | K04 a | 6,75537 | K04 b | 0,32392 | K09 b |
| | 4,53094 | K09 c | | | 3,3992 | K03 c | 22,7673 | K09 b | 6,35051 | K09 b | 0,06678 | K04 c |
| pinus=> | 6,61086 | K03 a | 4,96898 | K04 a | 4,95643 | K09 a | 24,3480 | K03 a | 8,70643 | K03 a | 1,50929 | K03a |
| | 6,09616 | K04 b | 4,83631 | K09 b | 3,81949 | K03 b | 23,2541 | K04 b | 7,18901 | K09 a | 1,24643 | K09 a |
| | 4,78541 | K09 c | 4,82321 | K03 b | 3,80361 | K04 c | 16,9365 | K09 b | 7,07384 | K04 b | 0,42267 | K04 b |
| mata=> | 6,74992 | K03 a | 5,71886 | K09 a | 5,19408 | K09 a | 26,9384 | K03 a | 12,2642 | K03 a | 2,82306 | K03 a |
| | 6,31118 | K04 b | 5,54369 | K03 b | 3,96835 | K04 b | 23,2126 | K04 b | 10,8513 | K04 b | 2,65416 | K09 b |
| | 5,31431 | K09 c | 5,27447 | K04 c | 3,90741 | K03 b | 18,3442 | K09 c | 9,99082 | K09 b | 2,12231 | K04 c |

Considerando que a operação de calibração radiométrica das imagens foi concluída satisfatoriamente, a ocorrência de diferenças significativas, para um mesmo tipo de cobertura vegetal, ao longo das três passagens, deverá ser explicada exclusivamente por alterações estruturais e, ou, fisiológicas sofridas por esse tipo de cobertura vegetal. Assim, verificou-se que para a banda 3 os VMRA referentes à passagem K09 foram, para todos os tipos de cobertura vegetal, significativamente superiores àqueles das demais passagens. Considerando somente os tipos relacionados aos plantios jovens de *Eucalyptus* spp., os VMRA para esses tipos de cobertura e para a passagem K09 deveriam ser pelo menos inferiores àqueles das demais passagens, mesmo que não o fossem significativamente. Tal fato não foi verificado, talvez, em virtude de dois fatores que podem ter atuado independente e concomitantemente: o crescimento dos plantios e a conseqüente alteração estrutural decorrente desse crescimento; e a influência de fatores climáticos, como precipitação e temperatura. Para a banda 4 (infravermelho próximo), os VMRA referentes à passagem K09, para todos os tipos de cobertura, foram todos significativamente inferiores àqueles das demais passagens, comprovando, mais uma vez, a não-distinção das tendências desses valores entre os tipos de cobertura, ao longo das passagens. Para as bandas do infravermelho médio (bandas 5 e 7), os VMRA apresentaram maior distinção entre as passagens, em praticamente todos os tipos de cobertura. Destaca-se o fato de, para os plantios jovens de *Eucalyptus* spp., o ordenamento desses valores médios ter sido o mesmo, com os valores da passagem K09 significativamente superiores aos da passagem K03, e estes superiores significativamente aos da passagem K04, indicando uma tendência mais coerente com o crescimento vegetativo desses dosséis (aumento de IAF e conseqüente aumento do conteúdo de umidade no dossel), ou com a influência de fatores climáticos, sobretudo a precipitação.

Para melhor visualizar o efeito dos fatores climáticos sobre os VMRA dos tipos de cobertura ao longo do período de tempo referente às

passagens, foram então determinados os NDVI em cada passagem e para cada um dos tipos de cobertura de vegetação, conforme descrito no item 2.6. Esses NDVI e as médias mensais de temperatura e precipitação encontram-se apresentados na Figura 1.

Para o caso das imagens referentes à passagem K09, vale ressaltar que elas foram obtidas no final do período seco do ano de 1992, no qual foram observados valores relativamente baixos de precipitação, acompanhados pelas temperaturas igualmente mais baixas no período. Para as demais imagens das passagens K03 e K04, foram identificados altos valores de precipitação e temperatura nos meses de janeiro e fevereiro de 1993, e apesar de as imagens da passagem K04 terem sido obtidas em abril, o período caracterizou-se pelo final do ciclo anual de chuvas, período este propício para o crescimento vegetal.

Analisando somente os NDVI de cada tipo de cobertura vegetal, em cada uma das três passagens, verificou-se que os tipos **jovem**, **inter.** e **denso** realmente apresentaram, em setembro de 1992 (K09), diferenças de fitomassa e, ou, de estrutura entre si, tendo o tipo **denso** sido mais semelhante ao tipo **euca.** do que os demais, o que já deveria ser esperado. Nas demais passagens, as diferenças foram atenuadas com o crescimento desses dosséis, que em março e abril de 1993 passaram a assumir uma “aparência” de plantios maduros de *Eucalyptus* spp.

Comparando agora os NDVI entre as passagens, verificou-se que todos aqueles determinados para a passagem K09, indistintamente, foram inferiores aos determinados nas passagens K03 e K04, indicando ser esta primeira passagem referente ao final do período seco do ano de 1992, quando a vegetação encontrava-se menos exuberante, em relação aos períodos seguintes (K03 e K04). Vale salientar que os NDVI determinados para o período de abril de 1994 (K04), também em todos os tipos de cobertura vegetal, apresentaram uma ligeira queda, que pode ter ocorrido em conseqüência da brusca diminuição dos valores de precipitação verificada.

vegetais considerados, do que a possíveis sintomas de deficiência de K.

Quando analisadas as diferenças para um mesmo tipo de cobertura vegetal, ao longo das três passagens, verificou-se que essas diferenças aparentemente estavam mais relacionadas à influência dos fatores climáticos. Assim, não foi possível identificar os sintomas de deficiências de K nesses plantios, pelo menos nas condições consideradas neste trabalho.

Em estudos futuros, deve-se procurar trabalhar com povoamentos de *Eucalyptus* spp. adultos (com mais de três anos de idade), nos quais a estrutura do dossel sofre pequenas alterações ao longo do tempo, minimizando sua interferência sobre sua reflectância espectral.

5. AGRADECIMENTO

À empresa Duraflora S.A., nas pessoas do Eng. Florestal Jeanicolau Lacerda e do Eng. Florestal Raul Chaves, que forneceram todos os dados disponíveis e necessários para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DELL, B., MALAJCZUK, N., GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation of eucalypts**. S.l.: Australian Centre for International Research, 1995. 110p. (ACIAR Monograph, 31)

HALL, F.G., STREBEL, D.E., NICKESON, J.E., GOETZ, S.J. Radiometric rectification toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.35, p.11-27, 1991.

MEYERS, V.I. Crops and soils. In: MEYERS, V.I. **Manual of Remote Sensing**. Falls Church: S.N., 1983. p.1715-1813.

PONZONI, F.J., HERNANDEZ FILHO, P. A fisionomia da cobertura vegetal do Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (PNPM) identificada através do sensor TM/Landsat: uma análise temporal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, 1988. Natal. **Anais...** Natal: s.n., 1988.

PONZONI, F.J. Dados TM/Landsat na identificação do ataque da Vespa-da-madeira em plantios de *Pinus* sp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: s.n., 1996.

PONZONI, F.J., GONÇALVES, J.L.M. Caracterização espectral de sintomas relacionados às deficiências de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e de Potássio (K) em mudas de *Eucalyptus saligna*. (no prelo)