

USO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA O MONITORAMENTO DO ESTRESSE DAS CULTURAS AGRÍCOLAS.

Eliana Lima da Fonseca¹

1. Introdução

É antiga a preocupação do homem em modelar os processos biofísicos da vegetação, utilizando como base o potencial genético das espécies vegetais e as informações de clima e de solo. Com a recente evolução e popularização da computação, tendo como conseqüências o avanço nas tecnologias de sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas, é uma questão de tempo para que sejam desenvolvidos modelos que integrem operacionalmente as variáveis espectrais da vegetação aos modelos de produtividade vegetal. Esta integração permitirá, de um modo geral, um melhor uso das informações que as imagens orbitais fornecem, nos âmbitos espectral, temporal e espacial, visando o monitoramento das culturas agrícolas.

Este trabalho faz uma pequena revisão dos aspectos teóricos de fisiologia vegetal e sensoriamento remoto necessários para se realizar o monitoramento dos estresses ambientais que definem a produção e a produtividade das culturas agrícolas.

2. Sensoriamento remoto para o monitoramento da vegetação

Estudos de observação da Terra feitos a partir do sensoriamento remoto consistem na interpretação e na compreensão das medições da energia eletromagnética, refletida ou emitida pelos alvos da superfície, feitas a partir de sensores a bordo de satélites ou de aeronaves (Mather, 1999). Para o monitoramento da vegetação é bastante comum a utilização de sensores eletro-ópticos, que geram imagens multiespectrais a partir da detecção da energia refletida pelos alvos localizados na superfície em específicas faixas do espectro eletromagnético, principalmente na região do vermelho e do infravermelho próximo, onde a vegetação interage mais intensamente com a radiação solar incidente (Nobel, 1999).

¹ Eng^a Agr^a, Dra, Pesquisadora da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira Mar, 3250, cep: 49025-040, Aracaju-SE, e-mail: eliana@cpac.embrapa.br.

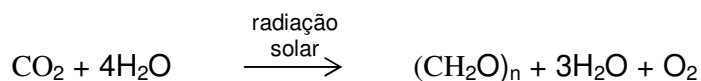
As imagens de satélite são comumente utilizadas para gerar informações qualitativas da superfície da Terra, tais como mapas com a distribuição da vegetação ou com classes de uso e cobertura. Estas informações são obtidas a partir de procedimentos de classificação de imagens, onde feições homogêneas existentes nas imagens são agrupadas em uma mesma classe temática (Mather, 1999), que identificam, por exemplo, os tipos de vegetação de uma determinada região, ou através de interpretação visual das imagens sendo este o procedimento mais comum e mais confiável para obtenção de mapas temáticos de uso e cobertura da superfície da Terra.

As imagens de satélite também podem ser utilizadas com o fim de monitorar e quantificar a vegetação de um determinado local. Nestes casos, as imagens são utilizadas como fontes de dados quantitativos, já que a radiância detectada é convertida em valores numéricos, em uma escala definida pela resolução radiométrica do sensor. Esta resolução é característica de cada sensor e fornece o intervalo numérico no qual os valores da imagem serão distribuídos.

Com base no conhecimento da resposta espectral da vegetação, dos fatores ecofisiológicos que alteram esta resposta, bem como da distribuição dos valores numéricos da imagem, tornam-se possíveis estudos quantitativos que visam inferir sobre uma determinada cobertura vegetal, com relação à sua produtividade, ao seu estado fitossanitário e/ou nutricional.

3. Aspectos ecofisiológicos do crescimento e desenvolvimento da vegetação

A produção de biomassa vegetal ou a produtividade primária líquida (NPP) é definida como sendo a quantidade de carbono assimilado pelo processo de fotossíntese (produtividade primária bruta, GPP), descontada a quantidade de carbono perdido durante os processos de respiração. A biomassa vegetal é produzida a partir da fixação do CO₂ atmosférico, utilizando como fonte de energia a radiação solar, cujas reações bioquímicas deste processo podem ser resumidas pela seguinte equação (Hall e Rao, 1994):



A água tem papel fundamental na fotossíntese por ser a doadora de elétrons para a reação química que inicia o processo de fixação do carbono. A disponibilidade de água para a vegetação

condiciona as taxas de fotossíntese do dossel, sendo regulada pela precipitação pluvial, pela capacidade de armazenamento de água do solo e pela demanda evaporativa da atmosfera (Gillet, 1984). O déficit hídrico nas plantas provoca mudanças no grau de abertura dos estômatos, uma vez que, quando as plantas estão sob estresse hídrico, são forçadas a trabalhar com uma menor abertura estomática, diminuindo o transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera (Chapin III et al., 1987).

Outro fator determinante para as taxas fotossintéticas é a quantidade de radiação solar incidente sobre um dossel. Aproximadamente 28% do total da radiação solar incidente na superfície da Terra está compreendida entre os comprimentos de onda 400 e 700 nm, sendo esta radiação denominada radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (Nobel, 1999). A quantidade de PAR interceptada por um dossel é uma função da estrutura do dossel e dos estados fitossanitário e nutricional da vegetação. A eficiência do uso da radiação pelas plantas depende da interação entre a vegetação e o ambiente, que define como os processos de fotossíntese e transpiração são afetados pelos elementos climáticos ou como a estrutura do dossel afeta a quantidade de radiação incidente que atinge as diferentes camadas do mesmo (Kiniry et al., 1989; Russell et al., 1989).

A capacidade fotossintética é também altamente correlacionada com o conteúdo de nitrogênio orgânico das folhas, por isso, o nitrogênio é o nutriente que as plantas necessitam em maior quantidade e, com frequência, limita o crescimento das plantas (Marschner, 1990). Esta relação entre nitrogênio e fotossíntese indica que os compostos nitrogenados da folha limitam diretamente a fotossíntese, sendo mais evidente a limitação causada pela enzima RUBISCO, responsável pela fixação de CO₂ nas plantas C₃ e C₄. Nas folhas, o nível desta enzima é controlado pela disponibilidade de nitrogênio durante o crescimento, bem como pelos níveis de CO₂, luz e água (Marschner, 1990; Salisbury e Ross, 1992).

4. Resposta espectral da vegetação

A interação da radiação solar com a vegetação se dá principalmente nas folhas, órgãos vegetais altamente especializados na absorção da radiação eletromagnética (REM), onde ocorre o processo da fotossíntese (Salisbury e Ross, 1992; Nobel et al., 1993). A Figura 1 ilustra as variações nas porções absorvida, transmitida e refletida da radiação solar incidente em diferentes comprimentos de onda do espectro óptico, após a interação da radiação com uma folha individual.

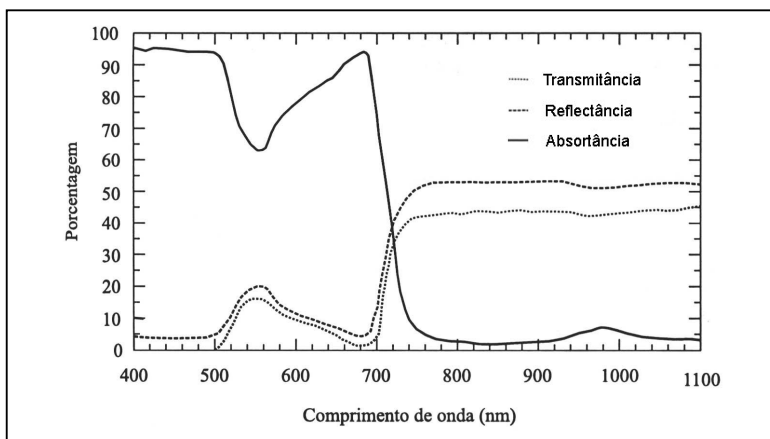


Figura 1 - Valores médios das frações refletida (reflectância), transmitida (transmitância) e absorvida (absortância) da radiação incidente após interação com uma folha individual em função do comprimento de onda (nm) nos comprimentos de onda do visível e infravermelho próximo.

Fonte: Adaptada de Ponzoni (2001).

A região do espectro eletromagnético entre 0,4 e 0,7 μm , correspondente à radiação fotossinteticamente ativa (PAR), que é a radiação utilizada pelas plantas no processo da fotossíntese, justificando a grande absorção apresentada pelas folhas nesta faixa de comprimento de onda (Salisbury e Ross, 1992; Hall e Rao, 1994). O aumento da energia refletida em torno de 0,55 μm é ocasionado pela reflexão da REM pelas clorofilas, que são os pigmentos fotossintéticos mais abundantes na vegetação verde sadia. As clorofilas *a* e *b* apresentam, respectivamente, dois picos de absorção, o maior nos comprimentos de onda de 0,649 e 0,665 μm e o menor nos comprimentos de onda de 0,420 e 0,435 μm (Hall e Rao, 1994).

Entre 0,7 e 1,3 μm (região do infravermelho próximo), há um predomínio dos processos de reflexão e transmissão da radiação incidente, devido à não utilização desta radiação nos processos de crescimento das plantas (Kasperbauer, 1994). O espalhamento da radiação nesta porção do espectro eletromagnético é utilizado como um processo de resfriamento da folha, evitando o acúmulo de energia no interior da mesma (Nobel, 1999). A partir de 1,3 μm os valores das diferentes partições da radiação incidente são função das bandas de absorção da água existente no mesófilo, localizadas nos comprimentos de onda de 1,4; 1,9; 2,7 μm (Kasperbauer, 1994).

4.1. Alterações na resposta espectral da vegetação em função das variações morfo-fisiológicas de um dossel

À medida que ocorram alterações morfo-fisiológicas no dossel, as frações absorvida, transmitida e refletida da radiação eletromagnética também serão alteradas (Russel et al., 1989; Nobel et al., 1993). A análise e a quantificação destas variações é o que possibilita o monitoramento da vegetação, bem como a integração dos dados obtidos a partir dos sensores remotos com modelos matemáticos para inferir sobre as propriedades biofísicas de um dossel.

Estudos que consideram todas as frações da radiação incidente são realizados somente em laboratório, a partir de medições em folhas individuais. Estudos com dosséis, realizados em campo, geralmente utilizam sensores orbitais ou aerotransportados, que medem a energia refletida pelos alvos da superfície terrestre, limitando as análises da resposta espectral da vegetação somente à porção refletida da radiação eletromagnética (Monteith e Unsworth, 1990). A arquitetura do dossel (ângulo de inserção, distribuição, orientação e espaçamento das folhas), o teor de pigmentos, o conteúdo de água, o grau de senescência e os estresses ambientais ou nutricionais aos quais as plantas estão submetidas, são os principais fatores que definem a reflectância de um dossel (Goel, 1988).

Na Figura 2 observa-se uma relação inversamente proporcional entre o aumento da biomassa vegetal e a energia refletida na porção do espectro eletromagnético correspondente ao vermelho (0,6 - 0,7 μm), em concordância com o exposto por Curran e Milton (1983) e Goel (1988). O aumento da absorção da energia nesta faixa do espectro eletromagnético é consequência direta do aumento da quantidade de pigmentos fotossintetizantes (Knipling, 1970; Woolley, 1971; Tucker, 1973; Thomas e Gausman, 1977). Variações na adubação das plantas fazem com que ocorram aumentos não só no índice de área foliar (IAF) como também no teor de pigmentos fotossintéticos, aumentando a área para interceptar a radiação solar e também a capacidade de absorver a radiação interceptada (Marschner, 1990). Entre 0,7 e 1,3 μm a quantidade de energia refletida aumenta frente ao aumento do IAF, em função do aumento na quantidade de espaços intercelulares por área. Isto promove o aumento nas reflexões e refrações sucessivas da radiação eletromagnética no interior do mesófilo das várias camadas de folhas (Woolley, 1971; Thomas e Gausman, 1977).

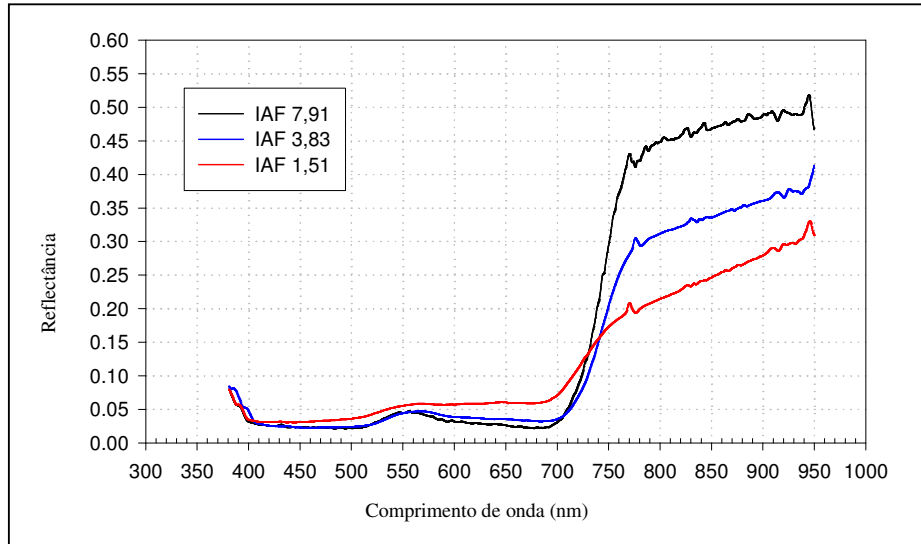


Figura 2 - Variações na reflectância nas porções do visível e infravermelho próximo frente ao aumento da biomassa (IAF) de dosséis de *Paspalum notatum*, em parcelas experimentais, em campo.

Fonte: Adaptada de Fonseca et al. (2002).

A ocorrência de déficit hídrico nas plantas também promove mudanças na resposta espectral de um dossel. A reflectância do visível aumenta, sendo o pico deslocado para a região do vermelho, função do predomínio dos carotenóides e da degradação das clorofilas. No infravermelho próximo a reflectância diminui, devido à degeneração das membranas celulares do mesófilo. A partir do comprimento de onda 1,3 μm , à medida que a vegetação seca, em função do déficit hídrico ou da senescência natural, a energia refletida aumenta, já que nesta porção do espectro eletromagnético a reflectância da vegetação é modulada pelas bandas de absorção da água.

Referências Bibliográficas

- Chapin III, F.S., Bloom, A.J., Field, C.B., Waring, R.H. Plant response to multiple environmental factors. **BioScience**, v.37, n.1, p.49-57, 1987.
- Curran, P.J.; Milton, E.J. The relationships between the chlorophyll concentration, LAI and reflectance of a simple vegetation canopy. **International Journal of Remote Sensing**, v.4, n.2, p.247-255, 1983.
- Fonseca, E.L.; Rosa, L.M.G.; Fontana, D.C. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.365-371, 2002.
- Gillet, M. **Las gramíneas forrajeras**. Zaragoza: Acribia, 1984. 355p.
- Goel, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v.4, p.1-212, 1988.
- Hall, D.O., Rao, K.K. **Photosynthesis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 211p.
- Kaspebauer, M.J. Light and plant development. In: Wilkinson, R.E. (Ed.) **Plant-environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. 599p.
- Kiniry, J.R.; Jones, C.A.; O'Toole, J.C.; Blanchet, R.; Cabelguenne, M.; Spanel, D.A. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain crop species. **Field Crops Research**, v.20, p.51-64, 1989.
- Knipling, E. B. Physical and physiological basis for the reflectance visible and near infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.1, n.3. p.155-159, 1970.
- Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1990. 674p.
- Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2 ed., Great Britain: John Wiley & Sons, 1999. 210p.
- Monteith, J.L; Unsworth, M.H. **Principles of environmental physics**. London: Edward Arnold, 1990. 291p.
- Nobel, P. S. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**. London: Academic Press, 1999. 474p.

Nobel, P.S.; Forseth, I.; Long, S.P. Canopy structure and light interception. In: Hall, D.O.; Scurlock, H.R.; Bolhàr-Nordenkamp; Leegood, R.C.; Long, S.P. **Photosynthesis and production in a changing environment**. London: Chapman & Hall, 1993. p.79-90.

Ponzoni, F.J. Comportamento espectral da vegetação In: Meneses, P.R; Madeira Netto, J.S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p.157-199.

Russel, G.; Jarvis, P.G; Monteith, J.L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: Russel, G.; Marshall, B.; Jarvis, P.G. **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p.21-39.

Salisbury, F.B.; Ross, C.W. **Plant physiology**. [s.l.], Wadsworth Pub., 1992. 682p.

Thomas, J.R.; Gausman, H.W. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops. **Agronomy Journal**, v.69, p.799-802, 1977.

Tucker, C.J. **The remote estimation of a grassland canopy / its biomass, chlorophyll, leaf water, and underlying soil spectra**. Fort Collins. 212p. Thesis (Master Degree). Colorado State University, 1973.

Woolley, J.T. Reflectance and transmittance of light by leaves. **Plant Physiology**, v.47, p.656-662, 1971.