

DISCRIMINAÇÃO HIPERESPECTRAL DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* (VM-01) EM CONDIÇÃO DE DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE DE BORO

Caetano Affonso Couto Podlasinski Silva ¹, Carlos Antonio da Silva Junior ¹, Luciano Shozo Shiratsuchi ², Mendelson Lima ¹, Fernando Saragosa Rossi ¹ e Reginaldo Carvalho Santos ¹

¹Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta-MT, caetano-okara@hotmail.com; ²Louisiana State University, Baton Rouge-LA, LShiratsuchi@agcenter.lsu.edu

RESUMO

Com o avanço da tecnologia e técnicas de sensoriamento remoto que vem sendo aplicadas ao monitoramento florestal, detecção e avaliação de séries temporais em função de condições e cenários sócio econômicos ambientais diversos, o objetivo deste estudo será analisar por meio de técnicas de sensoriamento remoto a aplicação de teores acima e abaixo do nível adequado do micronutriente boro em mudas do híbrido de eucalipto, sendo cultivadas mudas de eucalipto em casa de vegetação, onde ocorreu irrigação e aplicação do micronutriente boro, para mensuração, avaliação e discriminação deste nutriente na planta, houve utilização de um sensor remoto para tal finalidade (Fieldspec 4 Hi-Res) e assim por meio dos resultados obtidos, a aplicação das estatísticas discriminantes e análise dos dados obtidos através do mesmo, como também visualizar e discriminar suas respectivas diferenças entre os diferentes tratamento estudados através das curvas obtidas neste estudo.

Palavras-chave — Nutrição vegetal, micronutriente, sensor hiperespectral.

ABSTRACT

With the advancement of the technology and techniques of remote sensing that are being applied to forest monitoring, detection and evaluation of time series as a function of conditions and socioeconomic scenarios diverse environmental, the objective of this study will be to analyze through remote sensing techniques the application of contents above and below the appropriate level of boron micronutrient in eucalyptus hybrid seedlings, eucalyptus seedlings were grown in a greenhouse, where irrigation and micronutrient boron application were carried out, for measurement, evaluation and discrimination of this nutrient in the plant, of a remote sensor for this purpose (Fieldspec 4 Hi-Res) and thus through the obtained results, the application of the discriminant statistics and analysis of the data obtained through it, as well as to visualize and to discriminate their respective differences between the different treatment studied through of the curves obtained in this study.

Key words — Plant nutrition, Micronutrient, hyperspectral sensor.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil o setor florestal é constituído principalmente por indústrias de celulose e papel, produção de carvão vegetal, madeira serrada, chapas e aglomerados, que cada vez mais ocupam um lugar de destaque na economia nacional. No setor de celulose e papel o Brasil teve um grande avanço desde a época dos anos 50, onde a produção de celulose passou de 95 mil toneladas no ano de 1950, para 6,3 milhões de toneladas no ano de 1997, com isso a produção anual de papel passou de 253 mil para 6,5 milhões de toneladas respectivamente [1].

Entretanto, o setor florestal apresenta atualmente cerca de 10 milhões de hectares de florestas plantadas no ano de 2016, sendo um pouco mais de 7,5 milhões de hectares ocupados exclusivamente por espécies de eucalipto. A cultura do eucalipto vem ocupando cerca de 75% das áreas, sendo que a grande parte dela fica no Estado de Minas Gerais com uma área de 1,9 milhões de hectares de eucalipto [1].

Com o avanço da silvicultura de precisão voltada para a eucaliptocultura, o estudo sobre a influência do manejo de nutrientes no solo é de suma importância, ainda mais quando tratamos de componentes produtivos na cultura de eucaliptos clonados, vindo a possibilitar a avaliação de possíveis quadros de déficit e toxicidade nutricional, sendo possível a identificação e avaliação destes quadros mediante o uso de sensores hiperespectrais.

Perante isso, a utilização destes equipamentos que são de difícil acesso e que também apresentam custos elevados, técnicas de estudo que utilizam este tipo de sensor vem sendo fomentado como uma grande ferramenta na obtenção de IV's (Índices de Vegetação), com intuito de auxiliar na compreensão do comportamento de uma determinada cultura, assim sensores desta magnitude apresentam uma grande aplicação para estudos de vegetação como é o caso do espectrorradiômetro.

Assim, o objetivo deste referente estudo foi analisar por meio de técnicas de sensoriamento remoto a aplicação de teores abaixo e acima do nível recomendado do micronutriente boro em mudas do híbrido de eucalipto (VM-01) para se obter o comportamento espectral e observar a sensibilidade desta espécie quando exposta níveis pré estabelecidos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no município de Alta Floresta-MT situada na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) *Campus I*, onde foram adquiridas mudas do híbrido de eucalipto (VM-01) de um viveiro comercial e em seguida transplantadas para sacos plásticos de dois litros para a confecção do experimento.

O solo utilizado foi do tipo latossolo vermelho-amarelo, onde utilizou de uma quantidade de 100 litros, sendo o mesmo foi coletado no próprio *Campus* da universidade, perante isso, houve a separação em baldes de 20 litros e depois a peneiração, para posteriormente ocorrer a homogeneização do mesmo com seus diferentes teores do micronutriente boro.

O experimento teve uma composição de cinco tratamentos com dez repetições cada uma, sendo utilizado um balde de 20 litros para realizar a separação da quantidade de solo de cada tratamento tendo uma quantidade de 20 dm³. Em seguida levado para casa de vegetação colocados em sequência por tratamento, ocorrendo sua irrigação em seguida, após realizado este procedimento ocorria o acompanhamento e irrigação diária, sendo utilizada uma quantidade de 150 ml de água por muda para que não ocorresse a lixiviação do micronutriente e saturação do solo devido excesso de irrigação.

Entretanto, utilizou-se o ácido bórico em estado sólido (17% de Boro) em doses crescentes para compor os seguintes tratamentos: (T1) 0 mg.dm⁻³; (T2) 1 mg.dm⁻³; (T3) 10 mg.dm⁻³; (T4) 20 mg.dm⁻³ e (T5) 40 mg.dm⁻³. Em todos os tratamentos foram aplicados 200 mg.dm⁻³ de P (fósforo) na forma de MAP (Mono-Amônio-Fosfato, 50% de P₂O₅), 150 mg.dm⁻³ de K (potássio) na forma de cloreto de potássio (60% de K₂O) [2]. A adubação com P e K foram aplicadas e incorporadas no solo, no momento do transplante das mudas nos sacos plásticos, tirando a necessidade de aplicação de adubação de cobertura nitrogenada.

Os critérios para validar um índice de vegetação incluem maximizar a sensibilidade dos parâmetros biofísicos, minimizar o ângulo de elevação solar, ângulo de iluminação e atmosfera, minimizar as variações de fundo, permitir a comparação temporal e espacial das condições do respectivo vegetal estudado [3].

As leituras radiométricas foram realizadas por meio do FieldSpec[®] 4 Hi-Res que é um espectroradiômetro de alta resolução projetado para medidas de dados espectrais mais rápidas e precisas para uma ampla gama de aplicações de sensoriamento remoto. Tendo uma resolução do VNIR (visível e infravermelho próximo) de 3 nm (nanômetros) e uma resolução espectral do SWIR (infravermelho de comprimento de onda curta) de 8 nm, fornecendo um desempenho superior em todo o espectro de irradiância solar de faixa (350 a 2500 nm). A resolução espectral melhorada na gama SWIR (1000 a 2500 nm) é particularmente útil para

detectar e identificar compostos com características espectrais estreitas nos comprimentos de onda mais longos, como a mineralogia de alteração e gases para análise atmosférica.

As leituras realizadas com o espectroradiômetro consistiram da seguinte forma, onde era contada a quarta folha da muda a partir do ápice, após obtenção dos dados houve o armazenamento em um microcomputador portátil e os mesmos convertidos de extensão .asd para .txt, para ser convertido para o programa Excel[®] da Microsoft para em seguida ser realizado as devidas análises, que são demonstrados ao decorrer deste trabalho, como também a obtenção de suas curvas espectrais para cada tratamento analisado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada objeto ou vegetal apresenta uma estrutura molecular e atômica, na qual os elétrons estão distribuídos ao redor dos núcleos dos átomos em diferentes níveis energéticos que podem ter absorção de diferentes quantidades da REM (radiação eletromagnética), sendo maior a absorção pelo objeto menor a energia será refletida pelo mesmo. Os locais em que a absorção de energia acontece são denominadas de bandas de absorção. Esse fenômeno de interação entre objetos e REM incidente é chamado de comportamento espectral [4].

Perante isso, cada objeto tem sua própria assinatura espectral devido as composições físico-químicas dos objetos que fazem com que a radiação solar incidente interaja de formas diferentes entre si. Assim o comportamento espectral da vegetação apresenta duas bandas de absorção de REM na faixa do espectro visível (350 a 700nm), sendo que a primeira banda fica situada próximo a 480 nm devido a presença de pigmentos carotenoides, e a segunda banda se encontra aos 680 nm devido ao seu processo fotossintético da vegetação.

Essas duas bandas citadas anteriormente são formadas por picos de absorção devido aos pigmentos do grupo da clorofila, e ainda na faixa do visível a vegetação apresenta elevada reflectância situada em torno de 500 nm, local onde a cor predominante é o verde no espectro visível, sendo assim, a coloração verde das folhas devido a quantidade de clorofila existente nas folhas.

Diante disso, os dados obtidos com o espectroradiômetro foram de uma gama de desempenho espectral superior a todo o espectro de irradiância solar de faixa (350 a 2500 nm), assim, houve a organização das repetições das leituras realizadas, e também a organização por tratamentos para obtenção da assinatura espectral dos mesmos, para análise dos resultados obtidos, conforme Figura 1 a seguir.

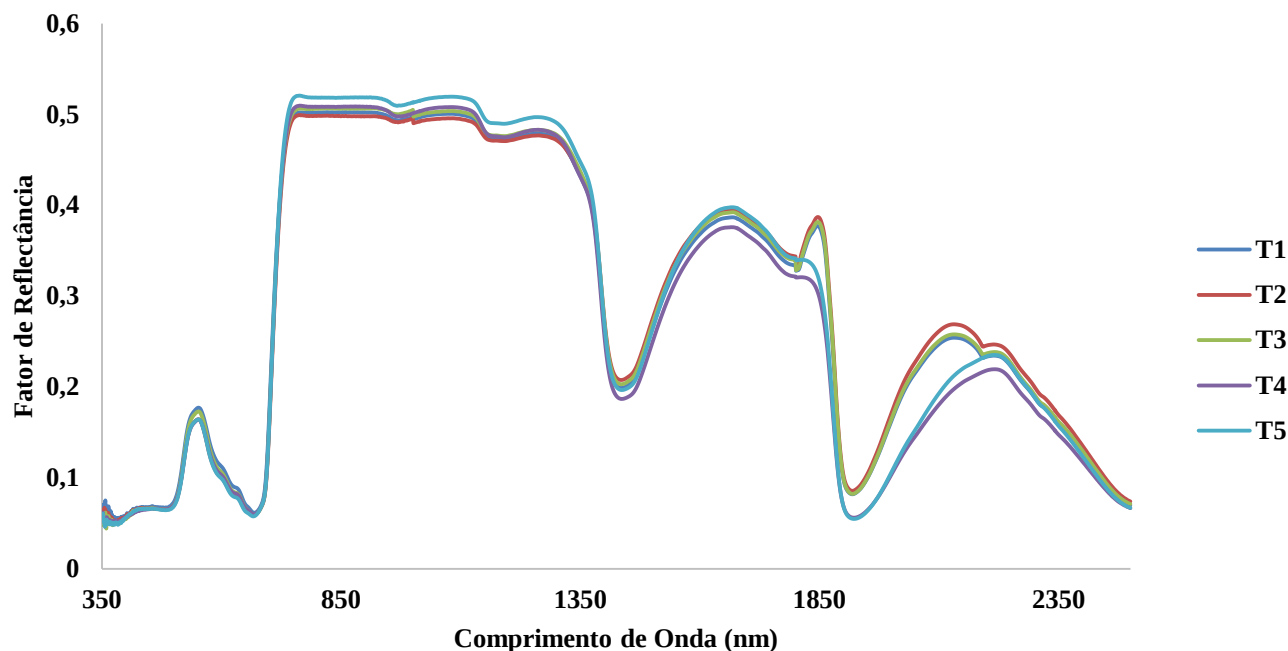


Figura 1 - Assinatura espectral eucalipto VM-01 conforme tratamentos.

Após obtenção das assinaturas espectrais das mudas de eucalipto foram analisadas as mesmas para compreender as questões físico-químicas do vegetal. Sendo que o vegetal apresenta uma região de alta reflectância (700 a 1300 nm), onde os comprimentos de onda estão associados a estrutura interna da folha. Essa significativa diferença de absorção e reflectância nos diferentes comprimentos de onda acontece para manter o equilíbrio energético no interior da planta vindo a evitar o superaquecimento e por consequência a destruição de sua clorofila. [5].

Na região do infravermelho (em torno de 1400 a 1900 nm) a vegetação apresenta mais dois picos de absorção devido a presença de água na folha. Diante disso, todo o comportamento espectral explicado trata-se de uma folha isolada, portanto, não são muito precisas para uma cobertura vegetal, mas fundamentais para um estudo de vegetação em si, como é o caso dos indivíduos em estudo de neste experimento. Sendo que existem diferenças entre reflectâncias da cobertura vegetal e da folha isolada em si, dentre essa diferença temos inúmeros fatores como solo, ângulo da iluminação, e orientação das folhas, bem como condições atmosféricas, características das parcelas de solo, índice de área foliar, estado fenológico, biomassa, folha (forma, posição, conteúdo de água, pigmentação, estrutura interna, etc.) e geometria (de iluminação, de imageamento, sol/ superfície/ satélite) [6].

Na Figura 1 a curva espectral das mudas de eucalipto, respectivamente, nas diferentes doses de boro aplicadas apresenta diferenças, onde a faixa do espectro visível (350 a 700 nm) apresenta a resposta espectral dos pigmentos das folhas existentes nos cloroplastos.

O cloroplasto apresenta cerca de 65% clorofila, 6% carotenoide e 29% xantofila, podendo vir a ter variações de espécie para espécie. Em geral, a cor amarelada ou alaranjada dos carotenoides (carotenos e xantofilos) é mascarada pela cor verde da clorofila, dessa forma, quando a clorofila é comprometida, predominam cores mais amarelas e alaranjadas, o que acontece tanto na deficiência e toxicidade de boro nas folhas de eucalipto, causando mudanças na cor das folhas para um verde claro e com necroses alaranjadas, vindo a ter grande diferenças na sua assinatura espectral nos diferentes tratamentos entre si.

A clorofila é a grande responsável pela absorção da REM no visível. Os pigmentos que mais regulam o comportamento espectral da vegetação são as clorofilas A e B. A clorofila absorve a luz verde em pequena quantidade, por isso a reflectância é maior no intervalo da luz verde, o que é responsável pela cor verde das folhas para a visão humana.

A reflectância nas folhas quando submetidas a efeitos de estresses, tais como doenças, problemas fisiológicos e condições ambientais adversas nos comprimentos de onda do visível, apresentam-se maior do que as folhas saudáveis [7].

Perante isso, podemos observar que as curvas espectrais dos tratamentos um, três, quatro e cinco apresentam maiores curvas espectrais quando comparados com o tratamento dois que vem a ser a que são as saudáveis.

Como as mudas estavam em condições de deficiência e toxicidade, a produção de clorofila é reduzida quando a planta está sob estresse, reduzindo, também, absorção REM, elevando, portanto, a reflectância nas regiões do verde e vermelho do espectro, vindo a resultar na cor amarela da folha quando está sob estresse [8].

Tendo também na região do infravermelho uma redução da absorção da REM e considerável espalhamento interno da folha, tendo reflectância espectral quase constante e baixa absorção de água nesta região das curvas quando podemos observar os tratamentos um, três, quatro e cinco.

A reflectância das folhas na região do infravermelho é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Esta estrutura pode sofrer alteração de acordo da relação água-ar no mesófilo devido a disponibilidade de água, alterando por completo a reflectância foliar. Além disso, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, consequentemente, tendo uma maior reflectância [6], como podemos ver essa diferença entre os tratamentos conforme suas curvas espectrais.

Quanto as curvas de cada tratamento, podemos observar diferenças significativas entre as curvas, entre um intervalo de 700 a 1300 nm, quando entramos no mérito da estrutura celular do vegetal estudado, sendo que o tratamento um que é o deficiente em boro apresenta um maior fator de reflectância. Agora quando entramos no mérito de absorção de água do vegetal que vai de 1300 a 2500 nm apresentando dois picos de absorção de água no vegetal, podemos observar quedas significativas de absorção de água dos tratamentos quatro e cinco, em ambos os picos de absorção, sendo que os dois são os tratamentos que apresentam a toxicidade do micronutriente no solo.

4. CONCLUSÕES

As curvas hiperespectrais apresentadas em função das doses de boro em plantas de eucalipto foram distintas e apresentaram uniformidade na detecção da deficiência e toxicidade do micronutriente boro.

Assim o uso de sensor hiperespectral não imageador apresenta-se como potencial ferramenta na detecção de estresse nutricional, devido as suas altas correlações e semelhanças das análises estatísticas.

5. REFERÊNCIAS

- [1] SNIF, Sistema Nacional de Informações Florestais, 2017 Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>, acesso em: 13 de setembro de 2018.
- [2] MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 3.ed. São Paulo: Agronomica ceres, 1981. 594p.
- [3] Huete, A.R.; Liu, H.Q.; Batchily, K.; Leeuwen, W. V. "A comparison of vegetation indices over a global set of tm images for EOS-MODIS", *Remote Sensing of Environment*, v.59, n.3, p.440-451, 1994.
- [4] Figueiredo, D. "Conceitos básicos de sensoriamento remoto". Brasília: companhia nacional de abastecimento, 2005.

[5] RSI, RESEARCH SYSTEMS, INC. Envi user's guide. Envi version 4.0 september, 2003.

[6] Ponzoni, F. J.; Galvão, L. S.; Epiphanyo, J. C. N. "Influência da resolução espacial sobre a quantificação de áreas não florestadas em ambiente amazônico", In: *Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, 10, 2001, anais..., foz do iguaçu: inpe, 2001. P. 1713 -1720.

[7] Hoffer, R.M. "Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data", in: swain, p. h; davis, s.m. remote sensing: the quantitative approach. new york: mcgraw-hill, 1978. p. 227-289.

[8] Gates, D.M.; Keegan, H.J.; Schleter, J.C.; Weidner, V.R. "Spectral properties of plants", *Applied Optics*, v.4, ed.1, p.11-20, 1965.