

Comparação espectral intra-específica em folhas de uma espécie dominante da caatinga no Nordeste do Brasil

Priscila Gomes Corrêa¹
Milena Dutra da Silva¹
Maria das Graças Santos das Chagas¹
Josiclêda Domiciano Galvêncio¹
Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel²

¹ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/CFCH
Av. Prof. Moraes Rego - 1235 – Cidade Universitária – CEP 50670-901 - Recife – PE, Brasil
{correa_pg, dutra_ms, mgschagas, josicleda}@hotmail.com

² Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE
Rua Dom Manoel de Medeiros - Dois Irmãos - CEP 52171-900 – Recife – PE, Brasil
pimentel.db@ufrpe.br

Abstract. The study of electromagnetic energy in detached leaves provides a more reliable interpretation of orbital data. This study aimed to characterize the spectral leaf of *Capparis flexuosa* individuals established in caatinga of northeastern Brazil. Anatomical characters and chlorophyll quantity were used as reference. In addition, we verified the existence of significant variations in reflectance among individuals of the same species and we related it with anatomical parameters and content of pigments, and was investigated the possibility of identify species through the spectral specific features. Measurements were taken for the radiometric and chlorophyll a, b and total in three individuals. From leaf samples, histological slides were made. The anatomical analyses were made on digital images obtained by light microscopy and image analysis program. We conducted measurements of the thickness (μm) cuticle top / bottom, surfaces of adaxial/abaxial epiderm, palisade/spongy and total thickness of the leaf. Significant differences were found in mean reflectance values among three individuals in four spectral bands analyzed. The individual 1 showed higher values to chlorophyll content, differing significantly from the other subjects. Only the thickness of the upper leaf cuticle showed a significant difference. The results indicate that it is possible to distinguish species through its spectral features. However, it is necessary to relate as many parameters as possible. Moreover, the interpretation of data of isolated leaves allows the recognition of the functional significance of vegetation spectral responses in orbital images.

Palavras-chave: tecido foliar, reflectância, pigmentos, absorção, leaf tissues, reflectance, pigments, absorption

1. Introdução

Entre os maiores tipos vegetacionais brasileiros, a caatinga recobre grande parte do semi-árido da região Nordeste brasileira (MMA, 2003). A grande variedade de espécies que compõem esta vegetação, em geral, adapta-se a uma luminosidade intensa e longos períodos de seca, causados pelos baixos índices pluviométricos e chuvas mal distribuídas, realizando ajustes morfológicos, como diminuição da área foliar ou modificação desta em espinhos, acúleos, espessamento de cutícula e elevados teores de clorofila a e b (Araus e Hogan, 1994; Almeida et al., 2009). Entre as espécies existentes na caatinga, *Capparis flexuosa* L. (Capparaceae) é uma espécie perene de porte arbustivo-arbóreo, distribuída em muitas áreas da região semi-árida do nordeste do Brasil (Pereira et al., 2007).

Entre os órgãos vegetais, a folha é o principal na interação entre a vegetação e a energia eletromagnética. Diversos autores citam o conhecimento da estrutura anatômica, composição química e o tipo/concentração dos pigmentos fotossintéticos deste órgão como elementos que possibilitam interpretar dados espectrais da vegetação, permitindo conhecer as condições da vegetação. Cada um destes elementos produz efeitos nas propriedades de reflectância, absortância e transmitância (Silva e Ponzoni, 1995; Coura, 2005). Assim, o conhecimento desta interação auxilia na interpretação de dados de sensoriamento remoto, permitindo monitorar a vegetação de forma mais segura.

Pozoni e Disperati (1995) afirmam que a composição química (composição e tipos de pigmentos fotossintéticos), a morfologia e a anatomia (distribuição dos tecidos, espaços intercelulares, entre outros) são características que variam entre os diversos tipos vegetacionais, determinando os padrões da reflectância da radiação eletromagnética incidente sobre as folhas. Os pigmentos fotossintéticos, principalmente as clorofilas *a* e *b*, são responsáveis pela absorção da energia luminosa emitida pelo Sol, e estão diretamente associados à eficiência fotossintética das plantas (Engel e Poggini, 1991). A determinação destes pigmentos é um procedimento muito utilizado, uma vez que auxilia no conhecimento do estado fisiológico da vegetação, na estimativa da produtividade, entre outras informações.

De acordo com Coura et al. (2005), a caracterização do perfil espectral de alvos vegetais por meio da espectrorradiometria, ou seja, a interpretação espectral a partir de folhas isoladas, possibilita uma melhor compreensão e interpretação de dados obtidos de imagens orbitais.

Assim, este trabalho objetivou caracterizar o comportamento espectral de amostras foliares de indivíduos de *C. flexuosa* estabelecidos em uma área de caatinga no nordeste do Brasil, a partir da análise de caracteres anatômicos e teores de clorofila *a*, *b* e totais. Além disso, foi verificada a existência de variações significativas na reflectância entre indivíduos de uma mesma espécie, relacionada com alguns parâmetros anatômicos e teor dos pigmentos citados e, deste modo, averiguar a possibilidade de identificar espécies vegetais através do comportamento espectral específico.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Procedimentos de campo

Este estudo foi realizado em uma área de vegetação de caatinga localizada em Fazenda Nova, no município de Brejo da Madre de Deus - Pernambuco, onde foram selecionados três indivíduos de *Capparis flexuosa*.

Em cada indivíduo foram realizadas medições relativas ao teor de clorofila *a*, *b* e total, com o auxílio de um medidor eletrônico portátil de clorofila ClorofiLOG 1030. Realizaram-se, também, medições radiométricas utilizando um espectrorradiômetro *FieldSpec® HandHeld* (HH) sensível à amplitude espectral entre 325 nm a 1075 nm, para posterior determinação da reflectância correspondente para cada intervalo de comprimento de onda. Os dados obtidos com o espectrorradiômetro foram imediatamente armazenados em um computador acoplado ao equipamento. Para ambas as medições, foram realizadas cinco repetições para cada indivíduo analisado.

Após a obtenção dos dados eletrônicos, procedeu-se a coleta do material vegetal. Foram coletadas dez folhas adultas, dispostas ao sol, de cada indivíduo. Foram consideradas folhas adultas aquelas que apresentaram lâmina foliar completamente expandida, localizadas a partir do quinto nó nos ramos. Todo o material coletado foi armazenado em sacos plásticos, etiquetados e mantidos em isopor com gelo e encaminhados ao Laboratório de Fitomorfologia Vegetal (LAFF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

2.2 Procedimentos de Laboratório

Inicialmente, as amostras vegetais foram fixadas em FAA 50 por 48h, procedendo a confecção de lâminas histológicas semipermanentes, seguindo metodologia usual em anatomia vegetal (Johansen, 1940). As análises da estruturação anatômica foram realizadas em imagens digitais obtidas sob microscopia óptica e programa de análise de imagens *Image Tool*. Foram realizadas medições da espessura (μm) da cutícula nas faces superior e inferior, das células epidérmicas das faces adaxial e abaxial, do parênquima paliçádico e esponjoso e da espessura total da folha.

Armazenados em um computador, os dados relativos ao teor de clorofila e os dados radiométricos foram convertidos para arquivos em formato texto usando os respectivos *softwares* para posterior processamento.

2.3 Análises Estatísticas

Para a análise da reflectância, o intervalo espectral foi dividido em bandas da seguinte forma: 0,45 μm a 0,52 μm (Banda 1); 0,52 μm a 0,60 μm (Banda 2), 0,63 μm a 0,69 μm (Banda 3), 0,76 μm a 1,1 μm (Banda 4).

Em seguida, foi aplicada ANOVA para a determinação das médias para cada banda, teores de clorofila e parâmetros anatômicos. O teste de Tukey foi usado para indicar diferenças significativas entre os parâmetros de cada indivíduo, analisados ao nível de 95 % de confiança.

3. Resultados e Discussão

3.1 Perfis Espectrais

A Figura 1 representa o comportamento espectral foliar dos três indivíduos de *Capparis flexuosa* obtido a partir da média dos valores de reflectância (n=45). É possível observar que os indivíduos apresentaram curvas espectrais semelhantes nas bandas 1, 2, 3 e 4, exibindo diferenças significativas em todas as bandas citadas, como veremos a seguir.

Analisando as curvas espectrais dos três indivíduos podemos observar que apresentam a mesma disposição dos padrões de uma folha verde: absorção na região do visível com um pico de reflectância no verde e uma elevada reflectância na região correspondente ao infravermelho próximo (Silva e Ponzoni, 1995).

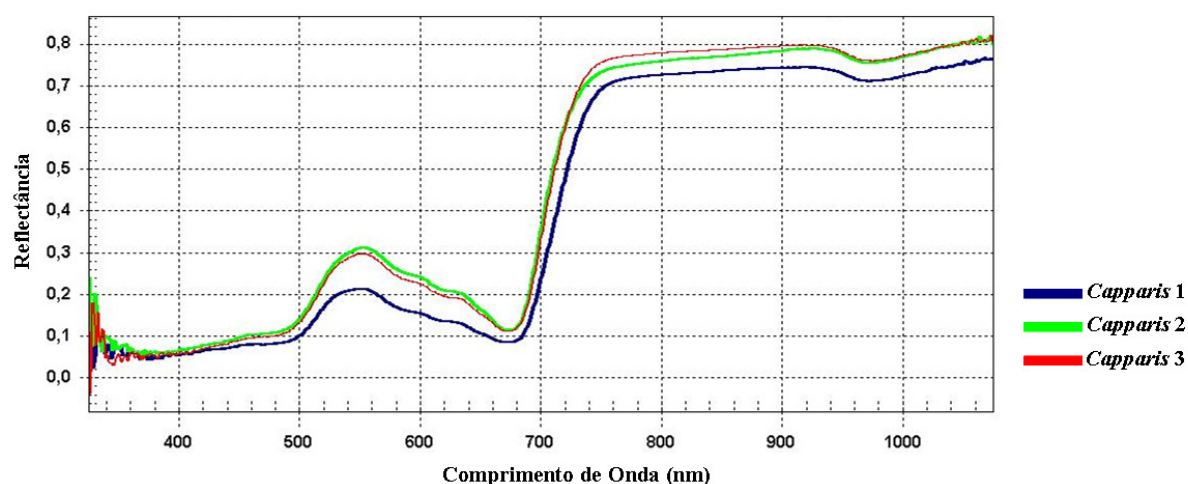


Figura 1. Perfil espectral dos valores médios de reflectância das amostras foliares de três indivíduos de *Capparis flexuosa* estabelecidos em Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus - PE.

Foi possível observar, na Tabela 1, diferenças significativas entre os valores médios de reflectância entre os três indivíduos em cada banda analisada. Nas bandas 1 e 3, os indivíduos *Capparis 2* e *Capparis 3* apresentaram maiores valores de reflectância, não diferindo significativamente entre si. *Capparis 1* apresentou menores valores em ambas as bandas, diferido significativamente dos demais indivíduos.

Nas bandas 2 e 3, todos os indivíduos diferiram entre si quanto aos valores médios de reflectância.

De acordo com Coura et al. (2005), variações nas curvas espectrais entre indivíduos da mesma espécie podem ser pronunciadas e causadas por variação temporais de estresse ou

estado vegetativo do indivíduo. Como os dados radiométricos deste estudo foram obtidos em campo, a diferença temporal entre as medições podem ter, provavelmente, interferido no comportamento espectral entre os indivíduos da espécie. Além disso, as variações observadas na região do visível estão relacionadas com os teores de clorofila.

Tabela 1. Comparação entre médias de reflectância para cada banda espectral em folhas de indivíduos de *Capparis flexuosa* estabelecidos em Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus - PE.

| | Banda 1 (0,45-0,52 μm) | Banda 2 (0,52-0,60 μm) | Banda 3 (0,63-0,69 μm) | Banda 4 (0,76-1,1 μm) |
|-------------------|---|---|---|--|
| Capparis 1 | 0,097 \pm 0,026 ^b | 0,188 \pm 0,020 ^c | 0,104 \pm 0,016 ^b | 0,733 \pm 0,013 ^c |
| Capparis 2 | 0,132 \pm 0,039 ^a | 0,278 \pm 0,024 ^a | 0,154 \pm 0,031 ^a | 0,774 \pm 0,017 ^b |
| Capparis 3 | 0,124 \pm 0,037 ^a | 0,265 \pm 0,024 ^b | 0,147 \pm 0,027 ^a | 0,785 \pm 0,013 ^a |

Médias (\pm desvio padrão) entre espécies, seguidas pela mesma letra, não diferiram significativamente entre si pelo teste Tukey a 95% de confiança.

3.2 Teor de Clorofila

Quanto aos valores referentes ao teor de clorofila *a*, *b* e total, o indivíduo 1 apresentou maiores valores para os três parâmetros, diferido significativamente dos demais indivíduos, os quais não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 2).

Tabela 2. Comparação entre médias relativa aos teores de clorofila *a*, *b* e total em folhas de indivíduos de *Capparis flexuosa* estabelecidos em Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus - PE.

| | Clorofila <i>a</i> | Clorofila <i>b</i> | Total |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Capparis 1 | 34,780 \pm 2,709 ^a | 14,140 \pm 2,472 ^a | 48,920 \pm 5,070 ^a |
| Capparis 2 | 27,120 \pm 3,661 ^b | 7,200 \pm 1,632 ^b | 34,320 \pm 5,286 ^b |
| Capparis 3 | 26,660 \pm 1,926 ^b | 7,760 \pm 0,888 ^b | 34,420 \pm 2,748 ^b |

Médias (\pm desvio padrão) entre espécies, seguidas pela mesma letra, não diferiram significativamente entre si pelo teste Tukey a 95% de confiança.

Com base nestes resultados, é possível compreender o comportamento espectral dos indivíduos (Figura 1) observado na região do visível, faixa correspondente à absorção pelos pigmentos presentes nas folhas. O indivíduo 1, o qual apresentou maiores valores para os teores de clorofila *a*, *b* e, conseqüentemente, para clorofila total, mostrou uma maior absorção nos intervalos correspondentes ao azul e ao vermelho, seguido pelos indivíduos 3 e 2, nesta ordem. Ainda no visível, foi observado que o indivíduo 1 apresentou uma baixa reflectância na região do verde, enquanto os indivíduos 2 e 3, com os menores valores, apresentaram maior reflectância. Goel (1988) afirma que o tipo e a quantidade de pigmentos na folhas determinam as propriedades de reflectância, transmitância e absorvância da planta. Geralmente, quanto maior a concentração de pigmentos, maior será a absorvância, assim, a reflectância mostrará valores mais baixos.

3.3 Anatomia

Observando os valores referentes à espessura dos tecidos foliares (Tabela 3), apenas a espessura da cutícula da face superior da folha apresentou diferença significativa entre os indivíduos analisados. Os demais parâmetros não diferiram significativamente.

Embora os indivíduos aqui examinados não tenham mostrado diferenças significativas com relação à espessura de seus tecidos, as variações observadas nestes parâmetros foram responsáveis pela diversidade dos perfis espectrais entre os indivíduos (Figura 1). O indivíduo

1, *C. flexuosa*, apresentou o maior valor para espessura do parênquima paliçádico, o qual possui maior quantidade de cloroplastos, implicando em uma maior quantidade de clorofila em relação ao esponjoso, justificando o comportamento espectral na região do visível, ou seja, nas bandas 1, 2 e 3 encontrados nas suas folhas.

No entanto, o comportamento espectral na região do infravermelho próximo (banda 4) não correspondeu ao esperado. A literatura afirma que a espessura da folha é fator determinante nas variações de percurso da radiação eletromagnética no interior da folha. Nas folhas mais finas, a transmitância seria maior do que a reflectância, e o inverso ocorreria nas folhas mais espessas.

Tabela 3. Comparação entre médias da espessura (μm) da cutícula nas faces adaxial e abaxial, da epiderme nas faces adaxial/abaxial, dos parênquimas paliçádico/esponjoso e da espessura foliar total em indivíduos de *Capparis flexuosa* estabelecidos em Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus - PE.

| | Espessura (μm) | | | |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | Cutícula | | Face epidérmica | |
| | AD | AB | AD | AB |
| Capparis 1 | 5,429 \pm 0,387 ^b | 3,447 \pm 0,411 ^a | 19,293 \pm 2,067 ^a | 13,435 \pm 1,223 ^a |
| Capparis 2 | 5,943 \pm 0,385 ^a | 3,447 \pm 0,411 ^a | 20,932 \pm 1,287 ^a | 12,232 \pm 0,930 ^a |
| Capparis 3 | 5,687 \pm 0,444 ^b | 3,360 \pm 0,450 ^a | 18,603 \pm 0,775 ^a | 13,177 \pm 1,339 ^a |
| | Espessura (μm) | | | Total |
| | Parênquima | | | |
| | Paliçádico | Esponjoso | | |
| Capparis 1 | 80,797 \pm 8,870 ^a | 122,977 \pm 8,278 ^a | | 241,584 \pm 7,953 ^a |
| Capparis 2 | 72,454 \pm 9,356 ^a | 136,097 \pm 7,705 ^a | | 257,809 \pm 44,891 ^a |
| Capparis 3 | 55,830 \pm 4,703 ^a | 115,777 \pm 2,297 ^a | | 224,700 \pm 2,273 ^a |

Médias (\pm desvio padrão) entre espécies, seguidas pela mesma letra, não diferiram significativamente entre si pelo teste Tukey a 95% de confiança.

Para assegurar a interpretação destes dados se faz necessária uma investigação mais detalhada das características da superfície foliar. Além disso, a baixa amostragem para cada indivíduo ($n = 9$) pode ter comprometido a interpretação dos dados.

4. Conclusões

Os resultados aqui apresentados indicam que é possível distinguir espécies utilizando seu comportamento espectral. Porém, se faz necessário relacionar o maior número possível de parâmetros, a fim de obter mais segurança nas interpretações de dados orbitais da vegetação.

Além disso, a interpretação de dados obtidos em folhas isoladas possibilita o reconhecimento do significado funcional de determinadas respostas espectrais da vegetação em imagens orbitais.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro, à Universidade Federal de Pernambuco e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio à pesquisa.

Referências Bibliográficas

Andrade, L.A.; Pereira, I.M.; Leite, U.T.; Barbosa, M.R.V. Análise da cobertura de duas fisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. *Cerne*, v. 11, n. 3, p. 253–262, 2005.

Araus, J.L.; Hogan, K.P. Leaf structure and patterns of photoinhibition in two neotropical palms in clearings and forest understory during the dry season. **American Journal of Botany**, v. 81, p. 726-738, 1994.

Coura, S.M.C.; Piromal, R.A.S.; Canavesi, V.; Gomes, M.N.; Quirino, V.F.; Ponzoni, F.J. Comparação das características espectrais das espécies *Ligustrum japonicum* Thunb. e *Cassia macranthera* DC. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16-21, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1477-1484. On line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.28.09.01/doc/1477.pdf>> Acesso em: 7 nov. 2010.

Engel; V.L.; Poggiani, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991

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- 21, 1988.

Johansen, D.A. **Plant Microtechnique**. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 1949. 523p.

Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO**, 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 7 nov. 2010.

Pereira, N.T.; Dantas, J.P.; SILVA, C.C.; Silva, J.D.S.; Farias, A.F.F.; SILVA, R.M.; Mendes, N.R. Análise nutricional da espécie forrageira feijão-bravo (*Capparis flexuosa*). 2007. Disponível em: <http://www.annq.org/congresso2007/trabalhos_apresentados/T75.pdf>. Acesso em: 7.nov. 2010.

Ponzoni, F. J.; Disperati, A. A. Comportamento espectral da vegetação. INPE, 1995. (INPE 5619 pud/065).

Silva, E.L.S.; Ponzoni, F.J. Comparação entre a reflectância hemisférica de folhas e a reflectância bidirecional de um dossel. **Revista Árvore**, v. 19, n. 4, p. 447- 465, 1995.