UTILIZAÇÃO DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO CALCULADO COM DADOS DO LANDSAT-5 NA SEPARAÇÃO DE UNIDADES FITOFIOGRÁFICAS NA SERRA DO CIPO - MG.

Marisa Dantas Bitencourt Pereira
Ambrosina Helena Ferreira Gontijo

Depto Ecologia Geral - IB USP
Caixa Postal 11461 CEP 05499-900 São Paulo-SP

Abstract The use of vegetation index became the most common way of estimation herbaceous stratum, all over the world, in the last three decades. The vegetation index obtained by multispectral satellite data, when properly calibrated and standardized, can be used synergistically for a quantitative analysis of land surface change. Satellite observations provide an ideal data set to monitor changes of arid and semi-arid regions, due to its spatial resolution, its temporal frequency, and its span of observation for different spectral bands. The "Campos Rupestres" predominates over other physiognomies which comprises the "Serra do Cipó" located in Minas Gerais-Brasil. Its very low phytomass covering plus its quartzitic substract are responsable for a peculiar spectral signature over satellite images. The normalized difference index, using near infrared and red bands, is very appropriated for that type of vegetation. After the lower limit of the vegetation index were found, several field trip took place in order to identify the phytophysiographic units met in the area near the "Parque Nacional da Serra do Cipó". The spectral images and some geographic aspects were combined using SITIM and SGI with the objective of separating the main units. Thus, combining vegetation index with topography images it was found that the vegetation type Campos Rupestres occur exclusively above 1000 meters.

1. Introdução

O uso de índice de vegetação no estudo de comunidades vegetais naturais e de agroecossistemas data do final da década de 60, quando ainda se utilizava fotografias multiespectrais nas faixas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo. Na década de 70, com o surgimento dos sistemas orbitais multiespectrais, o uso desses índices se intensificou e propostas de diferentes índices foram apresentadas a comunidade científica (Pereira, 1986). Vários destes índices apresentaram excelente desempenho em estimar fitomassa foliar de diversos ecossistemas.

Entretanto, em regiões áridas e semi-áridas, a reflectância da fitomassa verde pode não dominar a resposta espectral proveniente do terreno. Assim, para se utilizar de imagens índice de vegetação é preciso verificar a partir de que valores a vegetação observada é contínua ou não, uma vez que o substrato e necromassa também apresentam uma resposta espectral nestas faixas.

A fisionomia vegetal característica do Parque Nacional da Serra do Cipó são os Campos Rupestres. Há contudo, exemplares de Campo Cerrado e Cerradão, além de Matas Ciliares e Capões. A análise espectral a partir de imagens obtidas por satélite passa necessariamente pela identificação e localização destas áreas e de seu comportamento espectral nas faixas do visível e do infravermelho próximo, médio e termal. Uma das maneiras de destacar a resposta espectral da vegetação viva, é através da obtenção de uma imagem-índice da vegetação. Os índices de vegetação são modelos numéricos que visam indicar a densidade da vegetação por área, através de razões das respostas espectrais do alvo em faixas não correlatas.

A presença de solo exposto e de necromassa no entanto, podem mascarar a resposta espectral proveniente de cada unidade no terreno. Assim, até um certo valor o índice de vegetação (IV) não é indicativo da densidade de vegetação verde como seria de se esperar. Por esta razão, é necessário uma análise prévia do intervalo de variação do IV de preferência com alguns pontos de referência no terreno.

Assim, alguns testes foram feitos antes da primeira visita de campo para separar as grandes unidades da cobertura vegetal. A orientação de botânicos e ecólogos que já estudam a área a muito tempo teve um papel inestimável na descrição das unidades. Na segunda visita, foram feitas as descrições preliminares das unidades fitofiográficas da Serra do Cipó a partir de uma imagem índice de vegetação classificada em seis fatias.

Cruzando esta classificação feita no SITIM com a imagem topográfica obtida através do SGI, também desenvolvido pelo INPE, observou-se que a ocorrência das classes está associada a disponibilidade maior ou menor de recursos hídricos bem como a sua altitude.

2. Fundamentos.

O três principais alvos que compõem a superfície da Terra são água, rochas e vegetação. Cada um deles apresenta um comportamento espectral característico. Dentro de cada alvo contudo, há variações que revelam características ecológicas quantificáveis. Uma delas é a quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa que cobre os vários substrátos.

Ao entrar em contacto com a vegetação fotossinteticamente ativa a REM tem o seguinte comportamento:

a) - absorve fortemente no azul (B), no vermelho (R) e no infravermelho médio (IVM), graças à presença de pigmentos (B e R) e de água (IVM). Em outras palavras, quanto mais clorofila e\ou água, mais baixa a reflectância nestas faixas.

b) - reflete fortemente no infravermelho próximo (IVP), graças a estrutura do mesofilo das folhas verdes e vivas. Em outras palavras, quanto maior o número de folhas mais alta a refletância nesta faixa.

A reflectância observada em ecossistemas naturais entretanto, nem sempre correponde àquela registrada em agroecossistemas onde o que se observa quase sempre monoculturas. Via de regra, a reflectância no visível geralmente decresce com o aumento da fração da cobertura vegetal, a reflectância no infravermelho próximo (IVP) nem sempre aumenta graças a outros fatores que não as folhas verdes. Na realidade boa parte dos tecidos estruturais das plantas têm a propriedade de absorver fortemente o IVP. Os solos arenosos ou quartzosos, presentes nos ecossistemas naturais áridos, também têm a propriedade de refletir fortemente no IVP. Assim, como os solos parcialmente vegetados são comuns nas regiões áridas faz-se necessário que se descubra a partir de que ponto a reflectância registrada se deve exclusivamente a vegetação ou ao solo.

A **Figura 1** mostra um conjunto de curvas de reflectância espectral entre 500 a 1200 nm de uma espécie arbórea típica do hemisfério norte, *Betula papyrifera*, um solo altamente reflectivo e as cascas, galhos e folhas mortas da referida árvore. Nesta figura pode-se notar a capacidade que o solo e as folhas

mortas têm de mascarar a resposta espectral da vegetação verde na faixa do vermelho ou 630 a 690 nm (Choudhury, 1992).

A partir do comportamento espectral da vegetação verde, muitos pesquisadores propuseram modelos matemáticos capazes de indicar a densidade da fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por área, na tentativa de superar os efeitos indesejáveis do substrato e das demais estruturas que não as folhas verdes. Nestes modelos quanto maior o valor do índice de vegetação mais densa é a fitomassa verde.

O uso de imagens-índice de vegetação tem se mostrado bastante útil uma vez que coloca em destaque as informações espectrais relativas exclusivamente à vegetação fotossinteticamente ativa. Na década de 70, com o surgimento dos sistemas orbitais multiespectrais, o uso desses índices se intensificou e propostas de diferentes índices foram apresentadas a comunidade científica (Pereira, 1986). Contudo, a simplicidade de uso elegeu o índice de Rouse et alii (1973), que relaciona as reflectâncias do vermelho (R) e do infravermelho próximo (NIR), explorando o fato de quanto mais clorofila maior a absorção no R e quanto mais fitomassa verde mais reflectância no NIR (Gates et alii, 1965; Knipling, 1970; Colwell, 1974). As duas faixas espectrais mencionadas correspondem respectivamente ao TM-3 e TM-4 no sistema TM-LANDSAT, hoje disponível.

O índice de vegetação mais testado até o momento é o que relaciona dados espectrais devidos à presença de clorofila e a estrutura do mesofilo das folhas fotossinteticamente ativas. Por ser o índice mais simples, por ter apresentado o melhor desempenho e por ter sido bem aceito pela comunidade cientíntfica, o índice de vegetação que faz parte do SITIM do DEG-IB-USP é o de diferença normalizada ou IV. Este índice foi desenvolvido por Rouse et alii (1973) e sofreu algumas modificações para poder ser incluído no software do SITIM.

3. Material e Métodos

Para separar as unidades fitofisiográficas do Parque Nacional da Serra do Cipó e adjacências, duas linhas de pesquisa foram acionadas. A primeira com as informações cartográficas da região e a outra com as informações sobre a cobertura vegetal.

As informações cartográficas foram obtidas através da junção de quatro folhas do IBGE (1977) com informações adcionais obtidas de fotografias aéreas e imagens de satélite. A etapa seguinte, foi digitalizar todos os dados contidos na carta básica mencionada, na escala 1:50000. As informações desta carta correspondem a topografia, hidrografia e o contorno do parque segundo o IBAMA. Em seguida, transformou-se estes dados de vetor para raster (imagens) através de algoritmo apropriado que foram então trabalhadas para a posterior sobreposição com os dados obtidos espectralmente, relativos a vegetação. Nesta etapa utilizou-se o programa SGI, Sistema Geográfico de Informações, desenvolvido pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Paralelamente, procedeu-se ao tratamento digital das imagens de satélite para a obtenção da distribuição da cobertura vegetal. Para isso, as imagens espectrais foram combinadas de modo a destacar a densidade de vegetação por área, ou seja, através de índice de vegetação. Posteriormente, classificou-se esta imagem indice de vegetação de modo a separar classes distinguíveis no campo. O cruzamento dos dois conjuntos de dados resulta em classes de cobertura vegetal com as altitudes, as declividades e a rede de drenagem, assim como sua localização em relação ao Parque. Nesta etapa utilizou-se imagens do satélite LANDSAT-5 e o programa SITIM (Sistema de tratamento de imagens multiespectrais) também desenvolvido pelo INPE.

3.1. Localização e caracterização da área

Formando uma cordilheira que se estende por mais de 1000 km, a Serra do Espinhaço se localiza geograficamente desde as áreas imediatamente ao norte do Quadrilátero Ferrífero-MG até a Bahia, com direção Norte-Sul. Devido a sua extensão, variedades fisionômicas e aspéctos estruturais, recebe nomes diversos nos mais variados setores.

A área a ser estudada no presente trabalho está inserida na "Alta Bacia do Rio Cipó", no extremo sul da cordilheira, denominado localmente de Serra do Cipó, onde se localiza a reserva do Parque Nacional da Serra do Cipó. Ocupa a porção extremo sul-sudeste da Folha Baldim e estreitas faixas a sudoeste de Conceição do Mato Dentro, Noroeste de Itabira (1:100.000 IBGE 1977) e Nordeste de Jaboticatubas (1:50.000 IBGE 1977), sendo delimitada aproximadamente pelos paralelos de 19°12'30'' e 19°30'35'' de latitude Sul e pelos meridianos 43°20'25'' e 43°40'00'' de longitude oeste. Pelo Decreto 19278 de 03.07.77 foi criado o Parque Estadual e pelo Decreto 80223 de 25.09.84 foi transformado em Parque Nacional, com 33.800 hectares.

O acesso a área, partindo de Belo Horizonte, é dado pelas rodovias MG-10, em direção à Lagoa Santa

e daí, até a Serra do Cipó, passando por São José de Almeida e Cardeal Mota.

A região caracteriza-se como um divisor de águas situado entre as Bacias do Rio São Francisco a Oeste e do Rio Doce a Leste. É drenada pelo alto curso do Rio Cipó e pelas cabeceiras dos tributários das Sub-bacias dos Rios Bocãina ou Palmital, Peixe, Mascate, Jaboticatubas, Parauninha, João Congo, Tanque, Picão Buraco do Itambé . As drenagens dos Rios Tanque, Peixe, Buraco do Itambé e Picão fazem parte da Bacia do Rio Doce e as demais pertencem à Bacia do São Francisco.

O estudo dos solos na região da Serra do Cipó e adjacências, têm sido feito apenas a nível da cobetura superficial pois não há, até o momento, levantamentos detalhados de perfís segundo sua distribuição horizontal e vertical.

Os solos se desenvolvem ao longo das vertentes variando em função de sua posição topográfica. Embora sua evolução esteja associada a fatores como o escoamento superficial e sub-superficial, litologia, vegetação, intemperismo, clima, declividade e tempo, a dinâmica fluvial através da infiltração lateral e vertical, é o fator mais determinante na sua evolução. Assim, os solos apresentam maior desenvolvimento em relevos pouco movimentados onde é preponderante a infiltração vertical e consequentemente os processos pedogenéticos. Já em áreas de relevo mais movimentado, o escoamento superficial lateral favorece a ação dos processos erosivos, dificultando o desenvolvimento vertical dos mesmos e, nas áreas deprimidas a maior concentração de água com tendência a estagnação e o lento escoamento, favorecem a formação de solos hidromórficos.

Tomando como base esta dinâmica, a Serra do Cipó constitui-se num planalto essencialmente de erosivo e associado às condições físicas locais. Os processos pedogenéticos não evoluem a ponto de desenvolver solos profundos. Além de rasos os solos têm alteração incompleta, tipo Cambissolo, formando uma camada de pavimento detrítico grosseiro, essencialmente quartzoso, e solos arenosos, sobre o quartzito, que é a litologia predominante.

Ao longo das regiões deprimidas e úmidas, associadas a soleiras estruturais, sobretudo nas porções mais elevadas e planas da Serra e a montante dos cursos d'água, desenvolvem-se Solos Hidromórficos arenosos e ricos em matéria orgânica. Estes solos podem algumas vezes tamponar um depósito de tufa de espessura variável, podendo desenvolver tanto sobre o quartzito alterado in situ como em depósitos de canais fluviais. Este mesmo tipo de solo ocorre também ao longo das planícies de vales ortoclinais dispostos em patamares estuturais. A tectônica e a estrutura têm papel fundamental no desenvolvimento destes solos hidromórficos uma vez que retêm o escoamento superficial e o lençol freático, gerando condições ao hidromorfismo.

Ao norte da área, nas proximidades do Córrego do Vitalino, pode-se observar a ocorrência localizada de um Latossolo Vermelho Escuro Laterítico desenvolvido sobre superfície coluvionar com níveis de canga sobreposta ao afloramento de filito hematítico.

Nas adjacênicas da Serra do Cipó, faixa de contato entre o Super Grupo Espinhaço (Serra do Cipó) e o Grupo Bambuí, a litologia muda de quartzitos para calcários, filitos e mármores sobre os quais, evoluem solos profundos, bem desenvolvido formando espêssos Latossolos Vermelhos, Vermelho-Escuro e Amarelo. Estes Latossolos se encontram geralmente recobertos por uma camada de pavimento detrítico, essencialmente quartzoso, sustentanto os topos aplanados das vertentes. A vegetação adquire um porte maior graças a melhores condições ecológicas aí encontradas.

Já nos sopés das escarpas da Serra, formam-se rampas côncavas de depósitos coluviais que se espraiam em forma de leques sobre o patamar ou vale subjacente. Tais depósitos possuem granulometria que varia de arenosa a cascalho grosseiro e matacões, muitas vezes coalescentes, interdigitando-se com os sedimentos aluviais e solos aí desenvolidos.

Embora o desenvolvimento atual dos solos na Serra do Cipó seja pouco significativo em termos de horizontes pedológicos, não significa necessariamente que o mesmo aconteceu em épocas remotas. Talvez já tenham resultado de uma maior evolução, e hoje se encontram rasos pela atuação dos contínuos e acelerados processos erosivos. Para se chegar a uma conclusão mais detalhada dos tipos de solos da região será preciso estudos mais avançados não apenas dos perfís de solos ao longo das vertentes, mais também da evolução dos processos exógenos e endógenos.

Segundo Menezes-Giulietti (1986), a vegetação da Serra do Cipó é formada, predominantemente, de Campos Rupestres que se caracterizam pela presença de estrato herbáceo sobre solos rasos, tanto arenosos como predregosos. Apresenta também uma grande ocorrência de gramíneas, ciperáceas e eriocauleacea, mais conhecidas como sempre-vivas, além de xiridáceas e velosiáceas entre outras famílias. Nas pedras nuas aparecem bromeliáceas e cactáceas, bem como algumas orquidáceas.

Além dos Campos Rupestres há ocorrência de outros tipos de vegetação associados a solos especiais. São as Matas de Galeria, ao longo dos cursos d'água e,

nas encostas, porções isoladas de Mata que levam o nome de Capões, se estiverem no topo, e de anfiteatros, se estiverem no sopé. Junto aos Campos Rupestres pode-se encontrar manchas de Campo Cerrado, Cerrado e Cerradão, conforme a altitude, as condições microclimáticas e o solo.

3.2. Tratamento digital dos dados Cartográficos.

A digitalização da Carta Básica foi feita através de uma Mesa Digitalizadora com o auxílio do solftware SGI desenvolvido pelo INPE.

Em seguida, os dados vetoriais foram tratados e transformados em imagens, o que facilita a manipulação e classificação dos mesmos.

Vários planos de trabalho foram elaborados sendo que cada um trouxe um resultado diferente. O arquivo de curvas de nível possibilitou a criação de uma imagem em tons de cinza que permite sua classificação por fatiamento e a atribuição de cores diversas. A declividade também é derivada deste arquivo de curvas de nível e a imagem resultante também pode ser classificada. O entorno do Parque e a hidrografia, montados em planos à parte, podem ser sobrepostos aos demais produtos bem como a imagens de satélite.

3.3. Tratamento digital dos dados espectrais.

Neste trabalho foram utilizadas imagens do TM-3 ou vermelho (630 a 690 nm) e TM-4 ou infravermelho próximo (760 a 900 nm), datada de 14.01.1990, correspondente ao período chuvoso, para a obtenção de uma imagem-índice de vegetação. A partir desta, obteve-se as classes com diferentes quantidades de biomassa verde por área.

O índice de vegetação utilizado relacionava, originalmente, os números digitais ou NDs do TM-3 e TM-4 da seguinte maneira:

$$IV = \frac{TM\text{-}4 - TM\text{-}3}{TM\text{-}4 + TM\text{-}3}$$

Entretanto, como as imagens são compostas por números digitais inteiros e, calculado pela equação acima, cada IV seria sempre menor que a unidade e como os ND se relacionam com a radiância (L) da seguinte maneira:

ND = Ganho L + Offset,

multiplicou-se um valor constante a cada IV, de modo que não mascarasse o contraste obtido com este tratamento de imagens.

Deste modo, o IV do SITIM passou a ser:

$$IV_S = \left[\frac{(TM\text{-}4 - TM\text{-}3)}{(TM\text{-}4 + TM\text{-}3)}\right] 256 + 0$$

Com o ganho igual a 256 a imagem índice fica na escala aproximada daquelas que lhe deram origem, sem o perigo de saturação dos índices, uma vez que a resposta espectral da vegetação no IVP já fica saturado quando o estrato passa de arbustivo para arbóreo (Colwell, 1974 e Knipling, 1970).

A partir da imagem-índice obteve-se a classificação por fatiamento, quando foram selecionadas oito classes. Através deste tratamento de imagens, tem-se que cada classe corresponde a um intervalo de índice de vegetação.

Para sobrepor os dados topográficos com os espectrais e para dar aos dados espectrais um caracter cartográfico, fez-se o registro da Carta Básica com a imagem índice de vegetação.

4. Resultados e Discussão.

Na análise preliminar, observou-se que as respostas espectrais levaram os valores de índice de vegetação a variar de 1 a 189 níveis de densidade de vegetação por área.

Na primeira visita ao Parque Nacional da Serra do Cipó, identificou-se as grandes categorias da cobertura vegetal, com a orientação de botânicos e ecólogos do IBUSP. Estas, em ordem decrescente de fitomassa por área são: Cerradão, Matas Ciliares, Capões, Campos Cerrados e Campos Rupestres. Estas unidades foram localizadas em uma imagem do local datada de 14 de Jan/90. Uma classificação da imagem índice de vegetação, a partir da equação indicada no item 3.3, observou-se 5 classes que estão descritas a seguir conforme a classe do IV:

de 1 a 47 = Campos rupestres 1
de 48 a 71 = Campos rupestres 2
de 72 a 118 = Camp. rupestres 3
de 119 a 142 = Camp. Cerrados

de 143 a 189 = Florestas.

Por esta análise, observa-se que os Campos rupestres estão localizados entre os IV's 1 e 118. Pelo cruzamento da imagem topográfica com a imagem índice verificou-se qua as classes com estes valores estão sempre em altitudes superiores a 1000 metros.

Após a segunda visita ao campo, já de posse da pré análise, investigou-se as classes com maior probabilidade de dúvidas espectrais que são os Campos rupestres, já que a forte influência espectral do substrato dificulta o desenpenho do IV em indicar biomassa verde. O resultado é o que segue onde se relaciona os intervalos de IV com a fisionomia:

01-47 = Campos quartzosos com fortes declividades podendo apresentar afloramento rochosos ou pedriscos aparentes.

48-60 = Campos areno-quartzosos com estrato herbáceo contínuo e necromassa abundante.

61-98 = Campos cerrados com cobertura contínuas ou campos brejosos.

99-118 = Campos cerrados descontínuos com pedriscos aparente

119-142 = Campos cerrados densos

143-189 = Cerradões, Matas Ciliares, Capões e Eucaplitos.

Cruzando esta classificação feita no SITIM com a topografia da área através do SGI, observou-se que a classe 6 (143-189) pode ocorrer em vários locais. Pela análise da drenagem nota-se que está sempre associada a disponibilidade maior de recursos hídricos. A classe 5 (119-142) suscede espacialmente a classe 6 à medida que as condições hídricas parecem pioram. A classe 4 (99-118) coincide com a encosta, onde o solo é pedregoso e apresenta uma deficiência hídrica muito grande. A classe 3 (61-98) aparece em altitudes superiores a 800 metros e é uma fisionomia campestre. A classe 2 (48-60), que se destaca por um estrato herbáceo contínuo com predomíneo de ciperaceas e forte presença de necromassa. Aparece desde a altitude de 1200 metros até as áreas mais altas chegando a 1697 metros. Finalmente a Classe 1 (1-47) que corresponde a vegetação arbustiva e sub-arbustiva rupícula, com velosiaceas e ciperaceas, por entre rochas parcialmente erudidas ocorrendo nas mesmas altitudes que a classe 2.

Resta ainda, uma descrição detalhada de cada unidade fitofiográfica encontrada, que reunirá as opiniões de todos os participantes deste projeto em torno de um consenso.

5. Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pelo financiamento deste projeto, a Dra. Ana Maria Giulietti pela coordenação do projeto e a Dra. Marico Meguro pela orientação.

6. Bibliografia

CHOUDHURY, B.J. (1992) Multiespectral satellite observations for arid land studies. *ISPRS Jour.Pht.Remote Sensing* 47:101-126.

COLWELL, J.E. (1974) Vegetation Canopy reflectance. *REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT* 3(3): 165-183.

GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. (1965) Spectral properties of plants. *APPLIED OPTICS* 4(1): 11-20 Jan.

KNIPLING, E.B. (1970) Physical an physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *REMOTE SENSING OF ENVIRONM.* 1():155-159.

MENEZES, A.L.A.; GIULIETTI, A.M. (1986) Campos Rupestres - Paraiso botânico na Serra do Cipó. *Ciência Hoje* 5 (25): 39-44.

PEREIRA, M.D.B. (1986) Correlação de fitomassa foliar de Campo Cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT e por radiometria de campo. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento remoto e aplicações. São José dos Campos - INPE 90 p. (INPE-3747-TDI-203)

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERINGS, D.W. (1973) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS Symp., 3, 1973. Proceedings. NASA SP-351 V 1:309-317.

TUCKER, C.J.; MILLER, L.D. (1977) Contribution of the soil spectra to grass canopy spectral reflectance. *PE&RS* 43: 721-726.

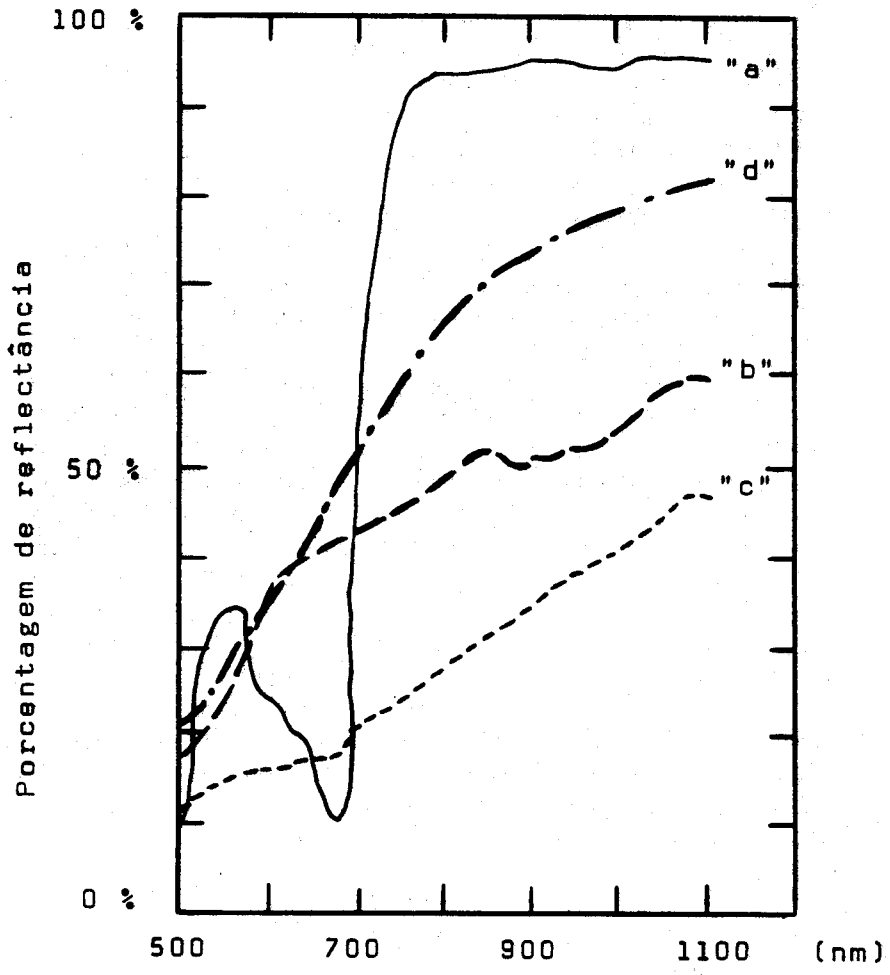

Figura 1 Curvas de reflectância espectral sendo "a" referentes as folhas da árvore *Betula papyrifera*; "b" solo típico do Norte dos Estados Unidos; "c" galhos e troncos; e "d" folhas mortas. Fonte Choudhury (1992).