

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

COMPORTAMENTO ESPECTRAL: VEGETAÇÃO, ÁGUA E SOLO

Prof. Peterson Fiorio

PIRACICABA – SP

2021

COMPORTAMENTO ESPECTRAL: VEGETAÇÃO, ÁGUA E SOLO

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. PRINCÍPIOS FÍSICOS DO SENSORIAMENTO REMOTO	6
3. FATORES QUE INTERFEREM NO COMPORTAMENTO ESPECTRAL MEDIDO DOS ALVOS.....	8
3.1. Geometria de aquisição de dados.....	8
3.2. Parâmetros atmosféricos	10
3.3. Parâmetros relativos ao alvo	10
3.4. Método de aquisição	10
3.4.1 Nível terrestre-laboratório.....	11
3.4.2 Nível terrestre-campo.....	11
3.4.3 Nível aéreo	11
3.4.4 Nível orbital	11
4. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS	12
4.1. Vegetação.....	12
4.1.1 Região do Visível (400-700nm).....	14
4.1.2 Região do Infravermelho Próximo (700-1300nm)	15
4.1.3 Região do Infravermelho Médio (1300-3000nm).....	17
4.2. Água.....	17
4.3. Solos.....	18
4.3.1 Elementos que atuam na intensidade da curva espectral	19
4.3.2 Bandas de absorção em 950nm, 1200nm, 1400nm e 1900nm.....	20
4.3.3 Óxidos de Ferro e Alumínio (450-760nm) e (760-1000nm)	21
4.3.4 CTC (capacidade de troca catiônica)	21
4.3.5 Condições de Superfície	21
5. REFERÊNCIAS.....	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição da luz visível e infravermelho	6
Figura 2: O espectro eletromagnético	7
Figura 3: Equação fluxo incidente	7
Figura 4: Resposta espectral de uma folha	8
Figura 5: Geometria de aquisição de dados (Vettorazzi, 1992).....	8
Figura 6: Influência do ângulo zenital (θ_z).....	9
Figura 7: Influência do ângulo de visada.....	9
Figura 8: Influência do ângulo azimutal	9
Figura 9: Imagem aérea	12
Figura 10: Resposta espectral das folhas	13
Figura 11: Reflectância, absorptância e transmitância de uma folha.....	13
Figura 12: Comportamento espectral de uma folha no visível	14
Figura 13: Diferenças de reflectância na vegetação devido à senescência	15
Figura 14: Resposta espectral de folhas hidratadas e não hidratadas (adaptado Gausman, 1985).....	16
Figura 15: Diferença estrutural entre folhas hidratadas e não hidratadas.....	16
Figura 16 Refletância Aditiva.....	16
Figura 17: Efeito do teor de umidade na reflectância da folha do milho.....	17
Figura 18: Comportamento espectral da água	18
Figura 19: Curva espectral de solos	18
Figura 20: Resposta espectral de alguns solos	19
Figura 21: Diferenças espectrais entre solos.....	20
Figura 22: Bandas de absorção em 950nm, 1200nm, 1400nm e 1900nm	20
Figura 23: Resposta espectral óxidos de ferro e alumínio	21
Figura 24: Influência das condições de superfície.....	21

1. INTRODUÇÃO

Sensoriamento remoto pode ser definido como a obtenção de informação mediante a detecção e a mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que o circundam, sejam estes campos eletromagnéticos, acústicos ou potenciais (ELACHI, 1987). Já para Novo (2010), sensoriamento remoto é definido pela utilização conjunta de sensores e diversos equipamentos de transmissão e processamento de dados acoplados a plataformas aéreas, ou outras plataformas, capazes de estudar eventos, fenômenos e processos que manifestam-se na superfície terrestre a partir da interação entre a radiação eletromagnética (REM) e a matéria.

A REM é o meio pelo qual a informação é transferida do objeto ao sensor, podendo ser definida como uma forma dinâmica de energia que manifesta-se através da sua interação com a matéria. A origem da REM varia ao longo do espectro eletromagnético e é emitida por todo corpo com temperatura superior a 0 K. Para o sensoriamento remoto da superfície terrestre, a principal fonte de REM é o sol (NOVO, 2010).

Além disso, a incidência da radiação eletromagnética pode ser descrita em três processos de interação, sendo elas: a reflexão, a transmissão e a absorção. De modo geral, as frações espectrais da radiação incidente que serão refletidas, transmitidas e absorvidas dependem das características físico-químicas de um objeto (PONZONI et al., 2012).

Neste contexto, as técnicas de sensoriamento remoto estão sendo utilizadas em diversos estudos de vegetação, seja para analisar grandes áreas, bem como em estudos voltados a fisiologia vegetal em ambientes controlados (PONZONI, 2001), além de estudos sobre a reflectância espectral de solos e corpos hídricos. O conhecimento do comportamento espectral é importante para a extração de informação de imagens obtidas pelos sensores, bem como a definição de novo sensores, forma de aquisição dos dados e do tipo de pré-processamento.

Todavia, a reflexão da radiação eletromagnética não ocorre igualmente em todas as direções ao longo de todo o espectro eletromagnético, para determinado ângulo de incidência, na maior parte dos objetos. Este fluxo de radiação incidente é composto por radiações de diferentes comprimentos de onda em que as condições geométricas variam conforme o comprimento de onda (PONZONI et al., 2012).

O material a seguir vai abordar o comportamento espectral de alvos, seja na vegetação, água ou solo, possibilitando a diferenciação pelas respectivas caracterizações espectrais.

2. PRINCÍPIOS FÍSICOS DO SENSORIAMENTO REMOTO

A radiação eletromagnética (REM) utilizada na obtenção dos dados por sensoriamento remoto pode ser descrita como radiação eletromagnética. Desta forma, a quantidade e qualidade da radiação eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres (vegetação, água e solo) proporciona uma interações entre a energia eletromagnética para com os objetos. Toda a radiação eletromagnética é quantizada em fótons, ou seja, a menor porção de radiação eletromagnética que pode existir é um fóton, qualquer que seja seu comprimento, frequência ou energia.

A REM pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético. A priori, trataremos da luz visível, isto é, aquela que enxergamos. Para facilitar o entendimento, tomaremos como exemplo o arco-íris, onde as cores estão distribuídas entre 400 a 700nm. Já os comprimentos de onda situados entre 760 a 3000nm compreendem a faixa do infravermelho, divididos em infravermelho próximo (760 a 1300nm) e o infravermelho médio (1300 a 3000nm). A figura abaixo exemplifica tal distribuição.

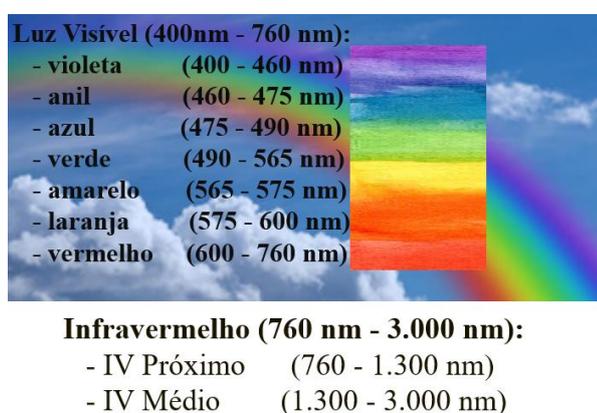


Figura 1: Distribuição da luz visível e infravermelho

Além dos comprimentos do visível e do infravermelho próximo, tem-se demais espectros eletromagnético que se estende desde comprimentos de onda mais curtos (raios gama) até os de grandes comprimentos de onda (ondas de rádio). Quanto menor o comprimento de onda, maior a energia e a frequência. Isso porque cada fótons carrega a mesma quantidade de energia, e maior será a quantidade de fótons por determinado período. Já para os comprimentos maiores, tem-se uma menor frequência e, conseqüentemente, menos energia em uma mesma superfície. Assim, tem-se que comportamento espectral de alvos é dado pela quantidade de energia refletida pelo alvo em cada comprimento de onda. A figura a seguir apresenta o espectro

eletromagnético.

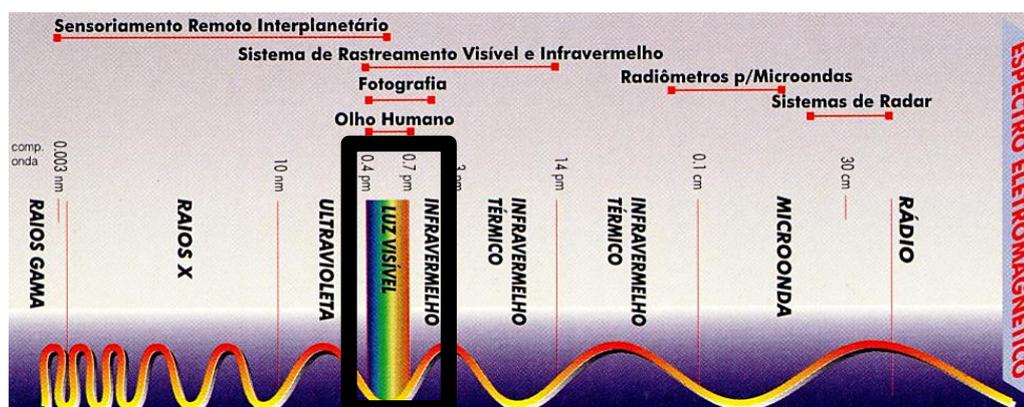


Figura 2: O espectro eletromagnético

Apesar dos inúmeros comprimentos de onda, este material irá focar nos comprimentos de onda do visível e do infravermelho (próximo e médio), justamente para compreender melhor o comportamento espectral de alvos (vegetação, água e solo), mas... como é realizada a medição da energia refletida pelo alvo?

Primeiramente é necessário compreender a calibração de cada sensor, seja de laboratório, campo, aéreo, bem como a interação da energia eletromagnética com o objeto terrestre (absorção, reflexão e transmissão). Sabe-se que o fluxo de energia incidente é dado pelo fluxo de energia refletido + fluxo de energia absorvido + fluxo de energia transmitido. Para calcular o quanto é refletido, é necessário dividir a equação pelo fluxo de energia incidente, como descrito na imagem abaixo.

$$\frac{\Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t}{\Phi_i = \Phi_i + \Phi_i + \Phi_i} = 1 = \rho + \alpha + \tau$$

Reflectância Absortância Transmitância

Figura 3: Equação fluxo incidente

A calibração é feita por meio de uma placa lambertiana capaz de refletir o fluxo incidente de maneira completamente difusa. Sendo assim, o sensor será calibrado com a quantidade de energia que chega na placa e é refletida, e o sensor irá ler toda a energia. Nesta situação, há a divisão da placa pelo alvo a fim de obter a reflectância e, posteriormente, a criação de uma curva espectral do alvo. A figura a seguir exhibe um exemplo de curva espectral.

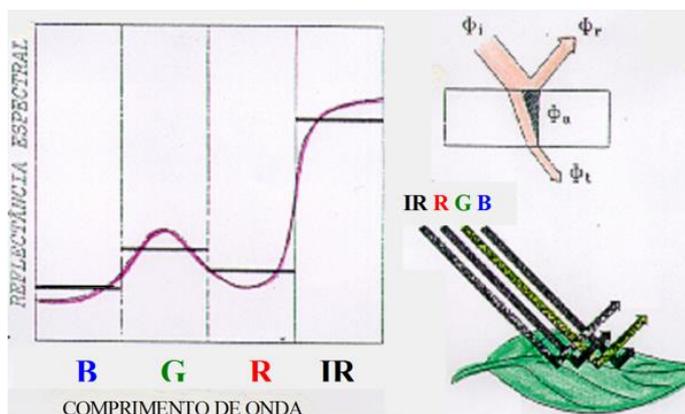


Figura 4: Resposta espectral de uma folha

3. FATORES QUE INTERFEREM NO COMPORTAMENTO ESPECTRAL MEDIDO DOS ALVOS

De acordo com NOVO (1989), o conhecimento do comportamento espectral dos alvos é importante para as seguintes fases do sensoriamento remoto: extração de informações, ou seja, interpretação dos dados obtidos; para a definição de novos sensores; para a definição do pré-processamento dos dados; e para a definição de forma de aquisição dos dados. Assim, para a obtenção de uma curva espectral, bem como sua análise, é necessário conhecer as condições de coleta dos dados, considerando os fatores que interferem no comportamento espectral dos alvos.

3.1. Geometria de aquisição de dados

Para Vettorazzi (1992), os parâmetros envolvidos na geometria de aquisição dados, e cuja variação interfere nas medidas de reflectância são: ângulo zenital do sol, ângulo de visada, ângulo azimutal e altitude do sensor.

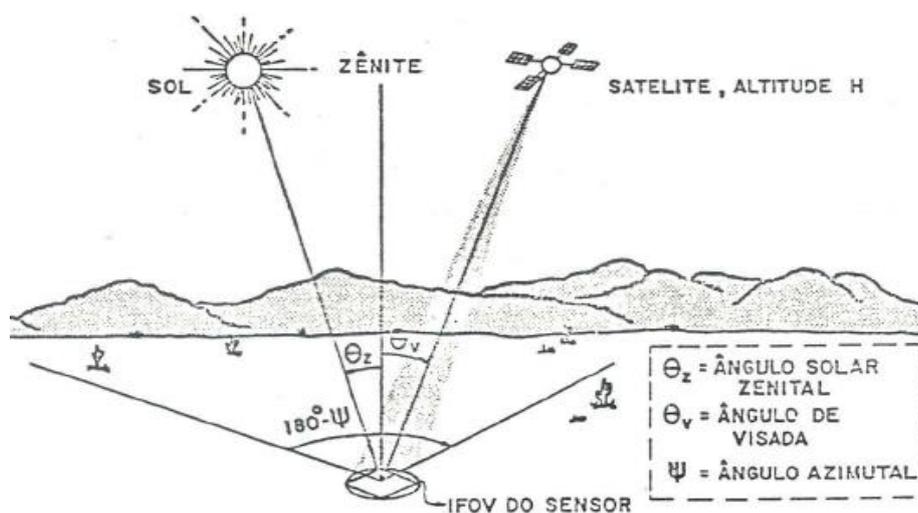


Figura 5: Geometria de aquisição de dados (Vettorazzi, 1992)

Tem-se que, para o ângulo zenital (θ_z), com o aumento do ângulo zenital solar ocorre uma diminuição da irradiância solar na superfície do alvo o que diminui a energia refletida aumentando a porcentagem de energia difusa sobre a superfície do alvo, como descrito na figura abaixo.

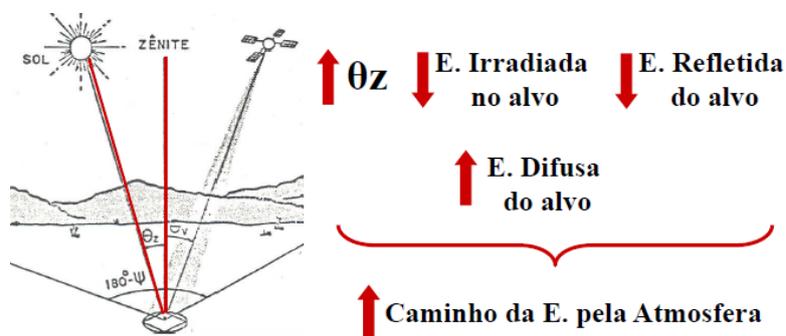


Figura 6: Influência do ângulo zenital (θ_z)

Para o ângulo de visada (θ_v), o aumento do ângulo de visada acarreta em um aumento do componente de radiação da atmosfera na energia refletida do alvo.

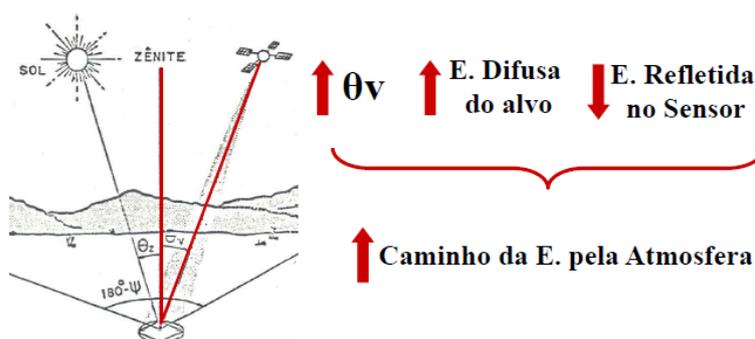


Figura 7: Influência do ângulo de visada

Já para o ângulo azimutal, a variação do ângulo azimutal do sol e do sensor altera a distribuição de energia na superfície do alvo.

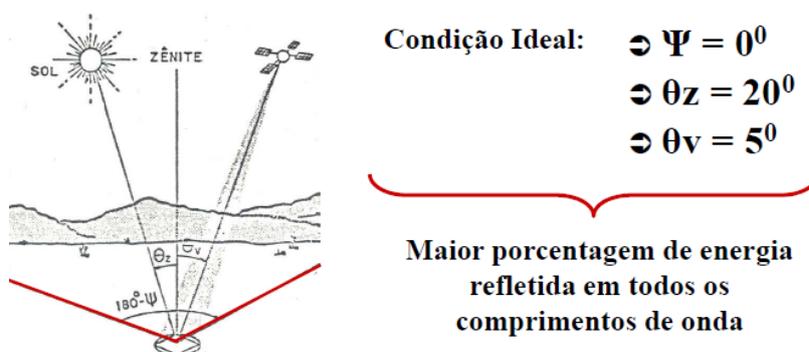


Figura 8: Influência do ângulo azimutal

Por fim, com o aumento da altitude do sensor, há um aumento da interferência de atmosfera na medida de reflectância do alvo (VETTORAZZI, 1992).

3.2. Parâmetros atmosféricos

Os principais parâmetros atmosféricos que interferem a resposta espectral dos alvos estão ligados a atenuação atmosférica. Sabe-se que a energia eletromagnética ao atravessar a atmosfera é absorvida, refletida e espalhada pelos gases presentes nela. Os gases atmosféricos absorve espectralmente a REM.

Para o processo de espalhamento, a energia é modificada pela mudança de direção. Enquanto que para o processo de absorção, a REM é seletivamente absorvida pela atmosfera através de seus vários constituintes (exemplo de gás: ozônio, no visível) ⇒ janelas atmosféricas. Mas... o que são janelas atmosféricas? Correspondem às regiões do espectro eletromagnético onde a absorção atmosférica é muito pequena. Nestas regiões a atmosfera é quase transparente à energia eletromagnética.

Além disso, a umidade e a presença de aerossóis também exercem influência sobre a resposta espectral. Para a umidade tem-se uma relação direta nos fenômenos de absorção e espalhamento de determinados comprimento de onda pela atmosfera. Já os aerossóis contribuem para o espalhamento.

3.3. Parâmetros relativos ao alvo

Dependendo no nível de aquisição, Vettorazzi (1992) traz que alguns parâmetros relativos ao alvo interferem de maneira diferenciada na resposta espectral do alvo obtido pelo sensor. Alguns exemplos: dimensões, estrutura (arquitetura), composição, vizinhança entre outros

3.4. Método de aquisição

A medição de reflectância de um alvo pode ser realizada, considerando os objetivos da pesquisa, em laboratório, no campo, ou a partir de uma plataforma aérea (aviões, helicópteros) ou orbital (satélites, laboratórios espaciais). Destaca-se que as condições de coleta em cada um dos níveis são diferentes, como a geometria de aquisição dos dados, parâmetros atmosféricos e parâmetros relativos ao próprio alvo (VETTORAZZI, 1992). Os níveis de aquisição serão descritos a seguir.

3.4.1 Nível terrestre-laboratório

O nível terrestre-laboratório compreende os dados coletados em campo e no laboratório (até $\cong 20\text{m}$). O nível terrestre-laboratório não tem influência da atmosfera, visto que é um ambiente controlado, e há uma ligação direta entre a energia incidência e a radiação do alvo. Para tal, faz-se necessário calibrar o sensor com uma placa *Lambertiana* capaz de medir a quantidade de energia que está chegando no alvo, bem como a quantidade de energia que está saindo. Neste nível, a resposta espectral é mais pura, justamente porque não tem influência de parâmetros atmosféricos.

3.4.2 Nível terrestre-campo

No nível terrestre-campo, a energia que sai do alvo e chega até o sensor e geralmente a distância sensor-alvo é de $\cong 5\text{m}$. Tem-se que quanto mais energia chega no alvo, maior será a energia refletida e vice-versa. Em dias ensolarados, a intensidade luminosa, a energia e a irradiância serão maiores. Em contrapartida, nos dias nublados, os índices serão mais baixos, por isso é importante que seja feito sempre a calibração dos aparelhos. A resposta também não tem influência de parâmetros atmosféricos neste nível. Destaca-se que, nos trabalhos de campo, é recomendado trabalhar das 10h às 14h, visto que este horário diminui a incidência de sombra fazendo com que a energia chegue ao alvo seja maior e sempre calibrar o sensor.

3.4.3 Nível aéreo

No nível aéreo (de $\cong 60\text{m}$ até $\cong 3000\text{m}$) os sensores são aerotransportados em aviões, drones e aeronave de asa fixa. Os primeiros aviões possuíam suporte da máquina fotográfica, um sistema capaz de evitar choques e vibrações, ajustamento para compensar a deriva e o desvio do avião enquanto percorre a linha de voo e a câmera mantida sempre paralela ao terreno. A calibração pode ser feita por pontos de controle no solo.

3.4.4 Nível orbital

Para o nível orbital, considera-se a aquisição de dados de sensoriamento remoto em nível orbital quando realizada através de equipamentos sensores a bordo de satélites artificiais. Os satélites transmitem os dados por ondas de rádio, das quais se extraem dados e imagens que por sua vez são armazenados em meios magnéticos (fitas), óticos (CDs) e em papel. Do ponto de vista da aquisição regular o aspecto multitemporal e multiespectral, das informações em nível orbital é mais eficiente do que em nível de aeronave. Neste nível há maior influência da atmosfera.

4. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS

É o estudo da reflectância espectral de alvos (objetos) como a vegetação, água e solos. De forma resumida, é o estudo da interação da REM com as substâncias da superfície terrestre. Neste tópico trataremos sobre o comportamento espectral da vegetação, de corpos hídricos e do solo.

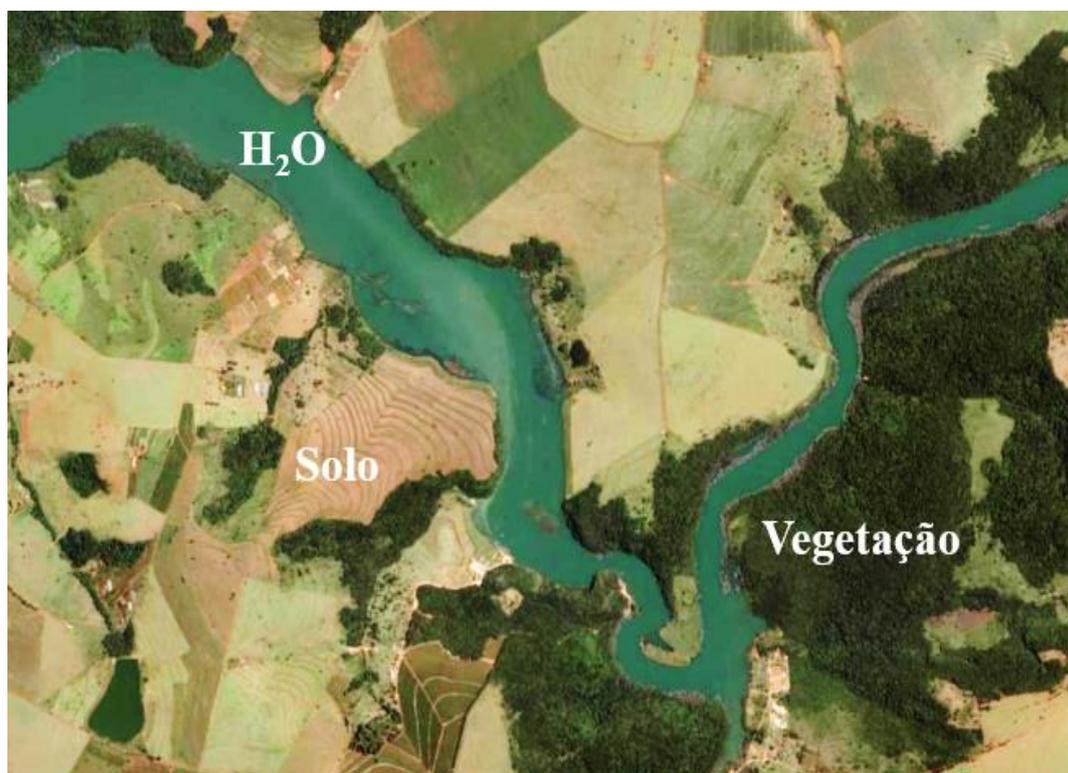


Figura 9: Imagem aérea

4.1. Vegetação

A captação da energia eletromagnética refletida pela vegetação ou dossel auxiliam a identificar as alterações no comportamento fisiológico da planta e, conseqüentemente, analisar o vigor da vegetação. A curva média da vegetação fotossinteticamente ativa é separada em três regiões espectrais (visível, infravermelho próximo e infravermelho médio) em função dos fatores que condicionam seu comportamento (NOVO, 2010).

A Figura 10. exibe a porcentagem de reflectância por comprimento de onda (nm) e as 3 regiões do espectro: visível, em que o pigmento da folha determina a reflectância; infravermelho próximo regido pela estrutura celular; e infravermelho médio que é influenciado pelo conteúdo de água.

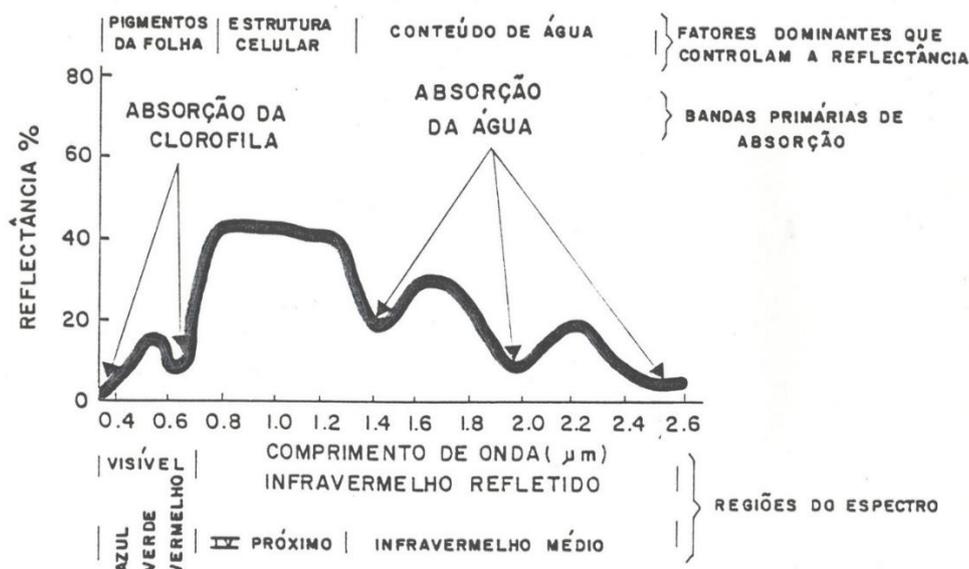


Figura 10: Resposta espectral das folhas

Em relação a reflectância, absorptância e transmitância de uma folha, a Figura 11. exibe comprimentos de onda de 400 a 2500nm. Na região do visível (400-700nm), a vegetação absorve a maior quantidade de energia, visto que é o local de transformação entre energia luminosa para energia química e, quanto maior a absorptância nesta região, maior a taxa fotossintética. Em contrapartida, na região do infravermelho próximo, há muita reflectância e transmitância, mas pouca absorptância, isso porque a planta não utiliza muito desta faixa do espectro para realizar suas reações. Por fim, no infravermelho médio, há maior absorptância e a planta volta a absorver mais energia, estando relacionado a evapotranspiração.

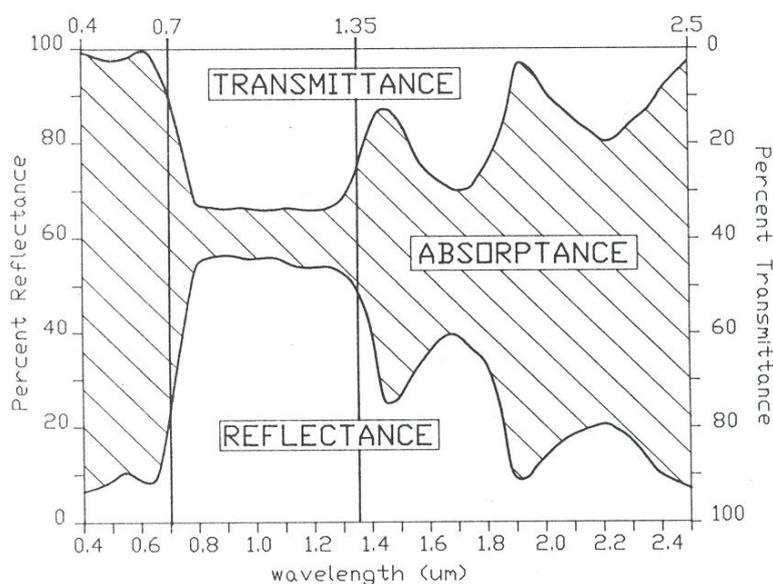


Figura 11: Reflectância, absorptância e transmitância de uma folha

4.1.1 Região do Visível (400-700nm)

É a região responsável pela ocorrência dos pigmentos das folhas, isto é, a resposta espectral é regida por estes pigmentos existentes nos cloroplastos. Tem-se que um cloroplasto é composto por 65% de clorofila, 6% carotenos e 29% xantofila. No geral, a cor amarelada ou alaranjada dos carotenoides (carotenos e xantofilas) é mascarada pela cor verde da clorofila, sendo que quando a clorofila é degradada predominam cores mais amarelas a alaranjadas. Por isso, a clorofila é a grande responsável pela absorção da R.E.M. no visível devido as atividades fotossintéticas em que a energia luminosa é transformada em energia química, sendo que a pigmentação das folhas altera a resposta espectral das folhas apenas na região do visível.

Quanto a absorção, ao separar a região do visível nos comprimentos de onda azul (440 nm, blue, B), verde (550nm, green, G) e vermelho (670nm, red, R), a Figura 12. demonstra que a grande maioria da absorção no vermelho é dada pela clorofila A e pela clorofila B, isto é, a absorção da energia é relacionada apenas à clorofila. Já nos comprimentos de onda do azul, quase toda a energia é absorvida clorofila A e pela clorofila B e pelos carotenoides, visto que há mais pigmentos nesta faixa do espectro. Já na região do verde, há pouca absorção, isso porque a máxima absorção é dada apenas no 530 nm pelas antocianinas. A pigmentação das folhas alteram a resposta espectral das folhas apenas na região do visível. Destaca-se que, o aumento da clorofila não causa aumento na absorção. Entretanto, quanto maior a degradação de clorofila, maior será a resposta dos carotenoides.

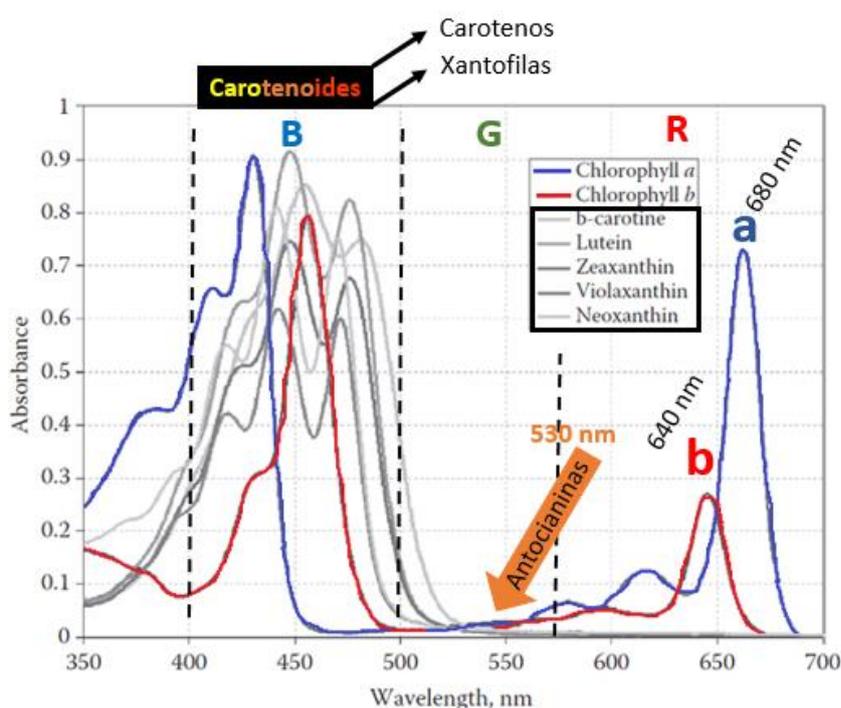


Figura 12: Comportamento espectral de uma folha no visível

Tomando-se como exemplo as fases de uma cultura, o crescimento vegetativo das plantas gera uma degradação na clorofila. Sabemos que a folha absorve na banda do azul, reflete no verde e absorve no vermelho. A planta, ao caminhar para a senescência, há um aumento nos valores de carotenos e xantofilas. Esta folha “amarela-esverdeada” irá refletir mais no verde e absorver mais no vermelho. Já a folha amarelada irá ter degradado mais a clorofila e, por isso, refletirá mais no vermelho. Por fim, a folha marrom tem resposta de palhada.

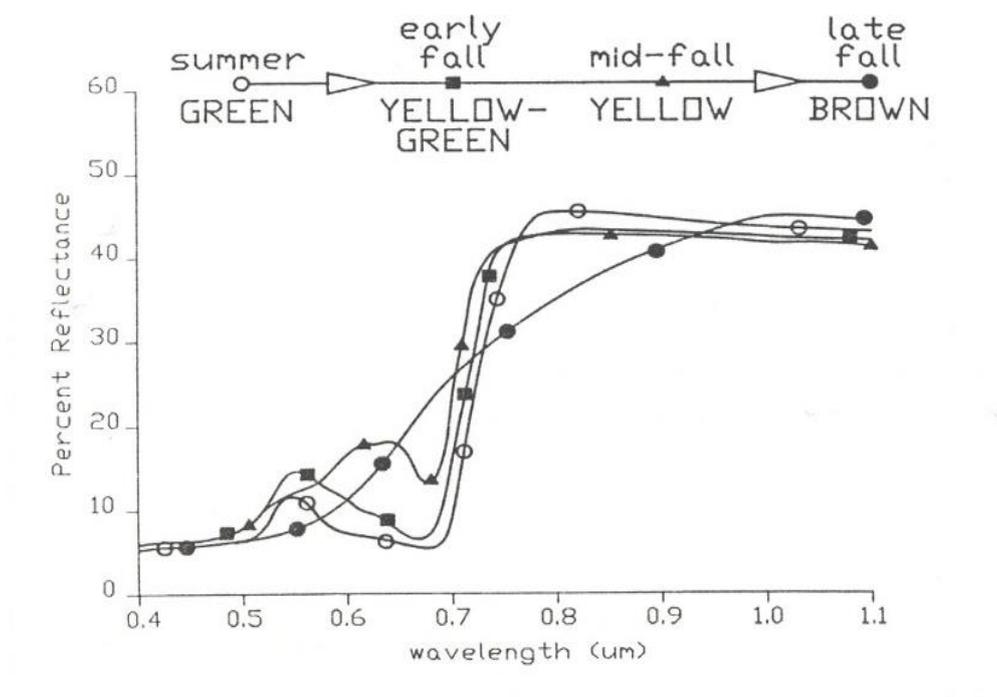


Figura 13: Diferenças de reflectância na vegetação devido à senescência

4.1.2 Região do Infravermelho Próximo (700-1300nm)

É a região dominada pela estrutura celular. Tem-se que, tudo que for verde não terá estrutura celular absorvendo muita energia e não respondendo no infravermelho próximo (IV-Próximo). Isso porque a cutícula e o epiderme da folha são praticamente transparentes à radiação do IV Próximo. A radiação do IV Próximo ao chegar às células do mesófilo esponjoso e às cavidades existente no interior das folhas é espalhado e submetido as múltiplas reflexões e refração que ocorrem devido a diferença dos índices de refração do ar (1.0) e das paredes celulósicas hidratadas (1.4).

A Figura 14. apresenta um experimento realizado com uma folha normal e uma folha hidratada. Nesta circunstância, a resposta espectral da folha hidratada é menor por conta da presença de água na folha, o que impossibilita maiores espaços com ar.

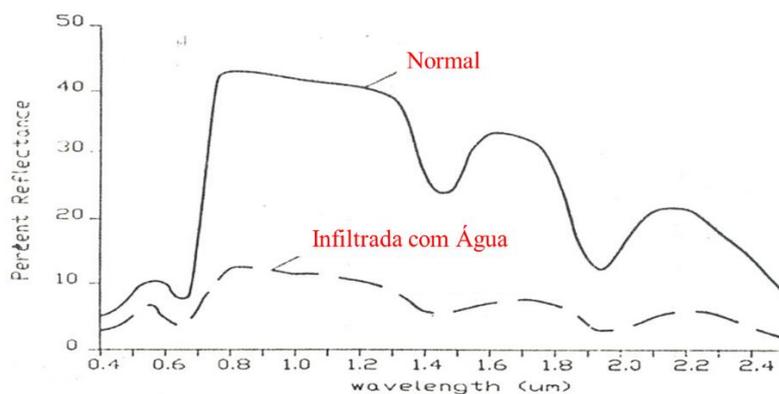


Figura 14: Resposta espectral de folhas hidratadas e não hidratadas (adaptado Gausman, 1985)

A resposta para esta diferença de curvas é dada pela variação da umidade nas plantas, visto que a partir do teor de água em uma folha é possível identificar se a folha é nova ou mais velha. Folhas novas apresentam poucos espaços com ar, já que estão mais hidratadas. Este processo gera uma resposta espectral menor no IV-Próximo. Em contrapartida, folhas mais velhas tendem a perder água e, conseqüentemente, aumentarem os espaços com ar. Esta desidratação gera uma maior resposta espectral no IV-Próximo

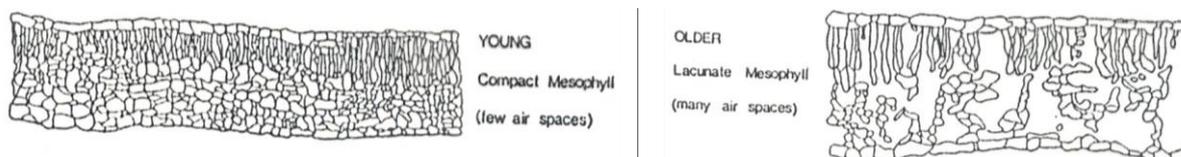


Figura 15: Diferença estrutural entre folhas hidratadas e não hidratadas

Além da questão da água nas folhas, é importante salientar que a reflectância na região do IV-Próximo aumenta com a maior densidade das folhas. A chamada reflectância aditiva, ou seja, é quando a energia transmitida através das folhas superiores é parcialmente refletida pelas folhas que estão mais abaixo. Assim, parte da energia transmitida para as folhas de baixo é somada com a energia refletida pela folha de cima, como descrito na figura a seguir.

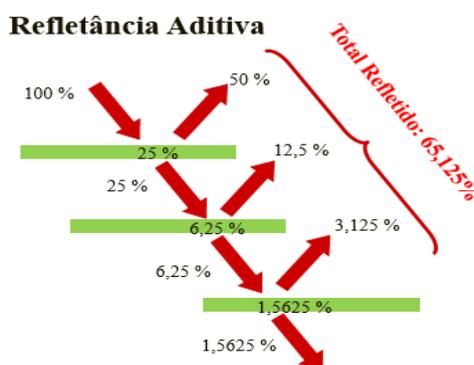


Figura 16 Refletância Aditiva

4.1.3 Região do Infravermelho Médio (1300-3000nm)

Nessa região a resposta espectral de uma folha sadia é caracterizada principalmente pela absorção de energia pela água que ocorrem próximas a 1500nm, 1900nm e 2700nm (pequena absorção em 980nm e 1150nm). Essa absorção de energia promove as transições dos estados vibratórios e rotacionais das moléculas de água. Com a diminuição do teor de umidade na folha ocorre a redução na absorção de energia pela água gerando um aumento na reflectância, como descrito na imagem abaixo.

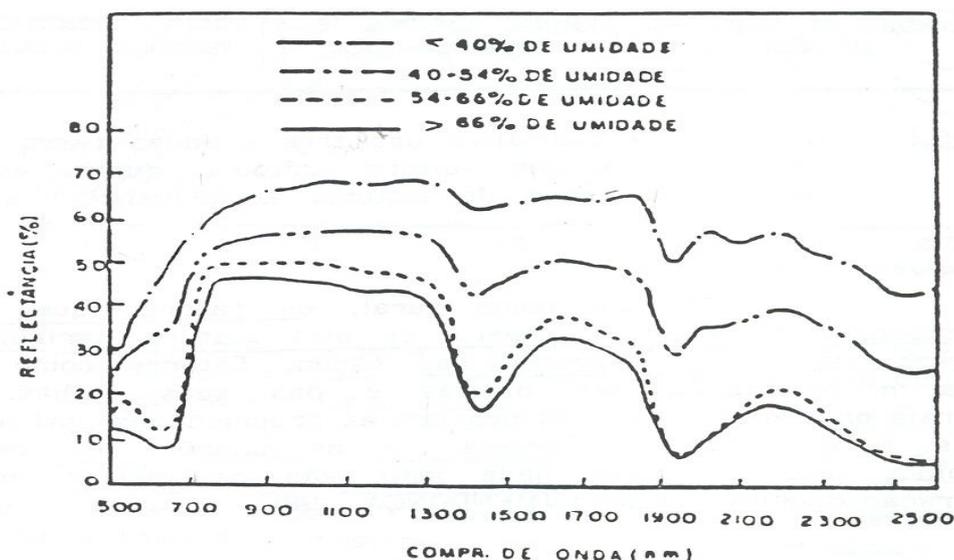


Figura 17: Efeito do teor de umidade na reflectância da folha do milho

4.2. Água

A água apresenta-se na natureza sob diferentes estados físicos os quais influenciam o comportamento espectral, seja no estado líquido, em forma de nuvens e/ou neve. No geral, a maior parte do fluxo radiante incidente sobre a água não é refletido, mas sim, absorvido ou transmitido.

A água no estado líquido apresenta baixa reflectância, entre 380-700nm, absorvendo toda a radiação acima dos 700nm. No estado líquido, materiais suspensos como argila e húmus influenciam na reflectância do corpo hídrico. Já a água em forma de nuvens, a maior reflectância é dada no intervalo 300-2500nm com bandas de absorção mais próximas de 1000, 1300 e 2000nm. Por fim, para a neve, de 700-1200nm há uma alta reflectância e próximos a 2000nm a reflectância é quase zero.

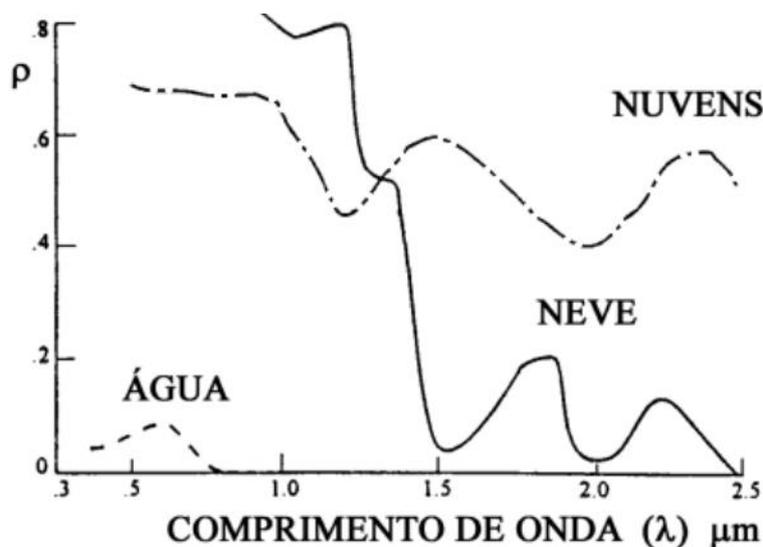


Figura 18: Comportamento espectral da água

→ **Curiosidade:** Por que as nuvens são brancas? As nuvens contêm grande quantidade de gotículas e cristais de gelo que agem como pequenos prismas, decompondo a luz solar nas sete cores do arco-íris: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Porém, quando olhamos para as nuvens, o resultado final é a soma de todas essas cores: o branco.

4.3. Solos

A resposta espectral de solos é a expressão que registra o fluxo de radiação eletromagnética refletida pelo solo em relação ao fluxo radiante. Os solos apresentam diferentes constituintes que podem influenciar o comportamento espectral, são eles: umidade, textura, cor, CTC (capacidade de troca catiônica), teor de óxidos de ferro, teor de matéria orgânica, bem como as condições de superfície.

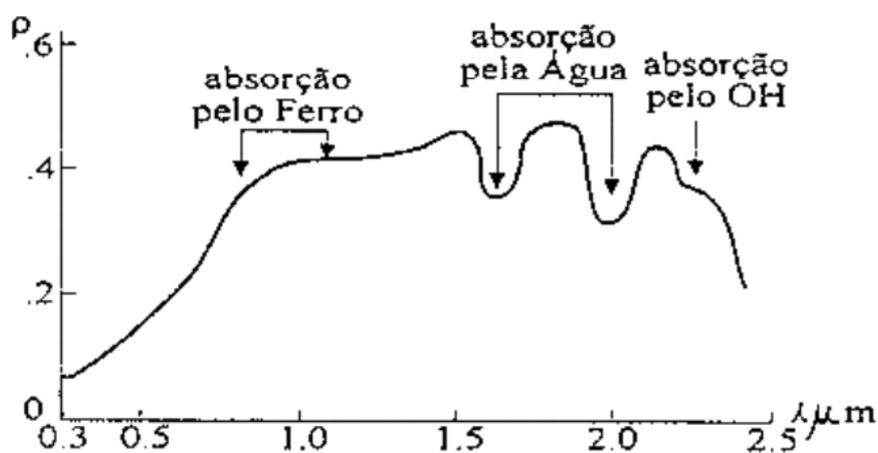


Figura 19: Curva espectral de solos

Como mencionado, a resposta espectral de solos podem variar conforme a diferença entre as texturas do solo. A Figura 20. apresenta a curva espectral de solos do horizonte B (horizonte diagnóstico) dada pela porcentagem de refletância por comprimento de onda. Tomaremos como exemplo o solo quartzarênico órtico (RQo) em que sua resposta espectral é ascendente em virtude do quartzo. Assim, a refletância é alta perante os demais solos. Em contrapartida, o latossolo vermelho eutroférico (NVef) está absorvendo mais energia em decorrência da sua coloração (rochas vulcânicas) e, por isso, a curva é descendente.

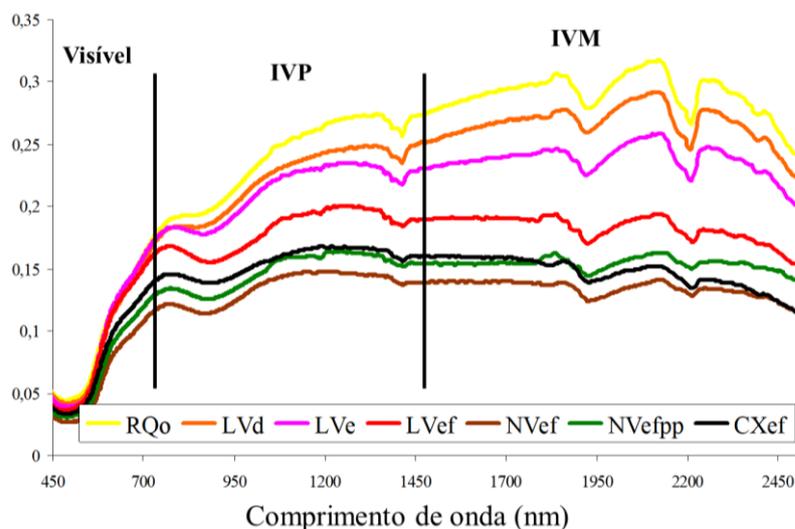


Figura 20: Resposta espectral de alguns solos

4.3.1 Elementos que atuam na intensidade da curva espectral

- **Umidade:** com o aumento do teor de umidade no solo temos uma maior absorção de energia radiante em todo o espectro da curva diminuindo a refletância, porém a forma geral da curva não se altera;
- **Teor de matéria orgânica:** com aumento do teor de matéria orgânica (>2%) temos uma maior absorção da R.E.M. em todo espectro estudado. Além disso a matéria orgânica também mascara a presença dos óxidos de ferro, na região do visível, diminuindo a intensidade dos picos de absorção dos óxidos;
- **Caulinita (2200 nm):** mineral 1:1 que apresenta uma curva característica interessante na sua banda de absorção o degrau em 2200nm. Neste comprimento de onda, a água em excesso mascara o efeito dos grupos OH da caulinita devido a sua menor superfície específica.
- **Quartzo:** devido a sua alta refletância solos com maiores quantidades de quartzo apresentam maiores intensidades, ou seja, maiores refletâncias em toda a curva espectral;

- **Magnetita:** mineral proveniente de rochas básicas é um mineral opaco apresenta grande absorção da REM diminuindo a intensidade de refletância por toda a curva espectral marcando, também, os picos de absorção em todo o espectro.

Dessa forma, a Figura 21. exibe a curva espectral de 4 tipos de solos diferentes, todos situados no horizonte B. Ressalta-se que os solos NVe-4_HAe o NVe-4_HB absorvem mais por conta da matéria orgânica, enquanto que os solos LVA_HA (média) e LVA_HB (média) refletem mais pois são solos bem agregados.

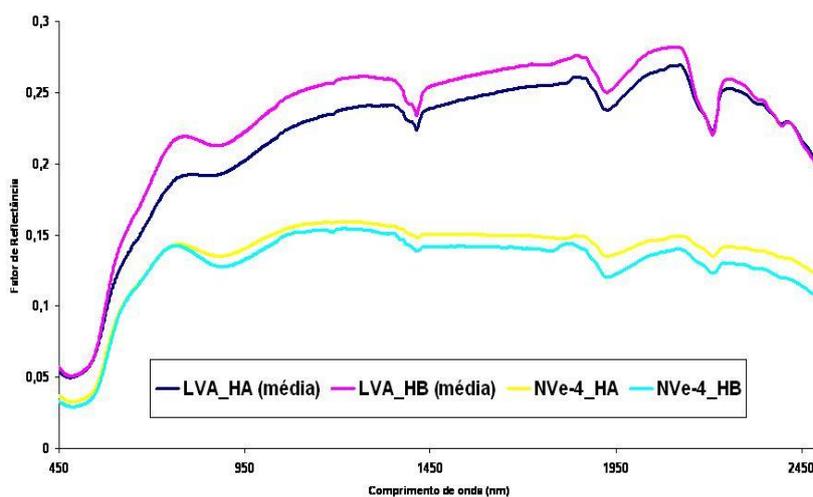


Figura 21: Diferenças espectrais entre solos

4.3.2 Bandas de absorção em 950nm, 1200nm, 1400nm e 1900nm

As bandas de absorção em 950nm e 1200nm são muito fracas sendo mais difícil de serem percebidas, mas em 1400nm e 1900nm tem-se H₂O ligada aos grupos OH (minerais). Os minerais 1:1 fazem parte da banda 1400nm e os minerais 2:1 na banda 1900nm.

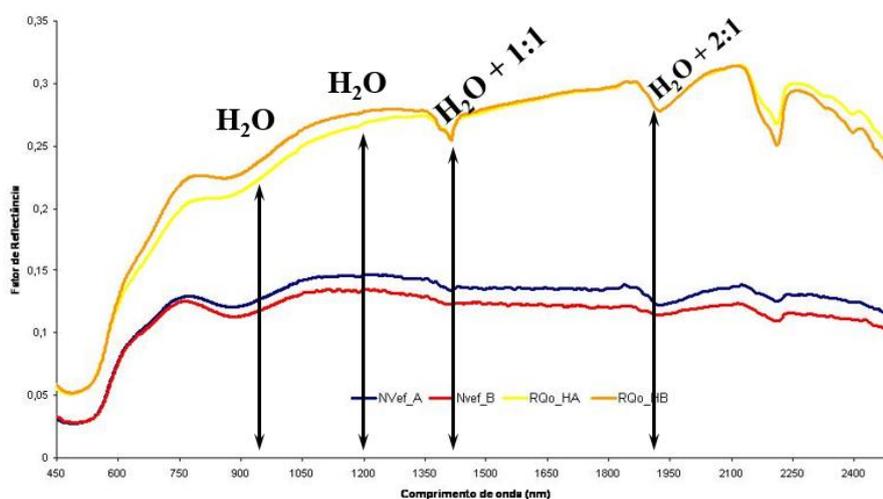


Figura 22: Bandas de absorção em 950nm, 1200nm, 1400nm e 1900nm

4.3.3 Óxidos de Ferro e Alumínio (450-760nm) e (760-1000nm)

A Hematita apresenta cores mais vermelhas, enquanto a Goethita apresenta cores amarelas. Por este motivo, apresentam, respectivamente, alta absorção na região do visível e baixa absorção no infravermelho próximo, em uma pequena banda de absorção centrada em 850nm.

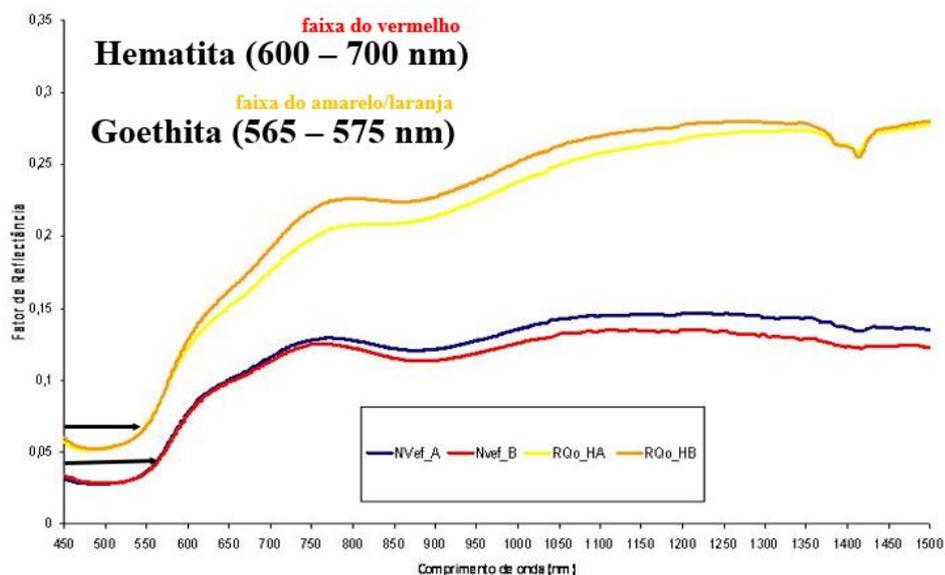


Figura 23: Resposta espectral óxidos de ferro e alumínio

4.3.4 CTC (capacidade de troca catiônica)

A capacidade de troca catiônica é inferida pela curva espectral a qual pode diferenciar solos com maiores teores de argila e matéria orgânica e que pode inferir uma CTC mais elevada.

4.3.5 Condições de Superfície

A rugosidade do alvo proporciona uma maior interação com a R.E.M o que promove uma maior absorção quando comparado com uma superfície teoricamente lisa.

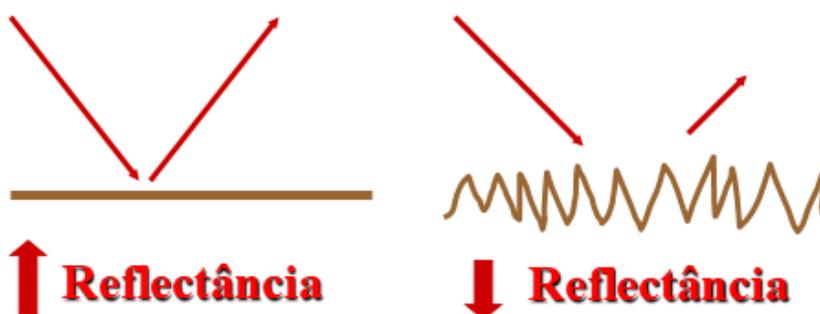


Figura 24: Influência das condições de superfície

5. REFERÊNCIAS

ELACHI, C. **Introduction to the physics and techniques of remote sensing**, New York, Wiley, 1987.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PONZONI, F.J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETO, J.S., (Eds). **Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: UNB/ EMBRAPA, 2001.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 160p., 2012.

VETTORAZZI, C. A. Sensoriamento Remoto Orbital. Serie **Didática - Departamento de Engenharia Rural. Esalq**. Ano: n.2, p.1-134, 1992.