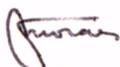


1. Publicação nº INPE-2777-RPE/436	2. Versão	3. Data Junho, 1983	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem DSR	Programa COMEA/RENAM		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) REFLECTÂNCIA UMIDADE DE SOLO SENSORIAMENTO REMOTO ÂNGULO DE VISADA SOLOS RUGOSIDADE			
7. C.D.U.: 528.711.7:631.432			
8. Título EFEITO DO ÂNGULO DE OBSERVAÇÃO E DA RUGOSIDADE SU PERFICIAL NO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS SOB CONDIÇÕES HÍDRICAS TEMPORALMENTE VARIÁVEIS		10. Páginas: 52	
		11. Última página: 41	
		12. Revisada por	
9. Autoria José Carlos Neves Epiphânio		 Evelyn M. L. de M. Novo	
Assinatura responsável 		 Nelson de Jesus Parada Diretor	
14. Resumo/Notas É descrito um experimento realizado sobre um Latossolo Vermelho Escuro na região dos Cerrados. O experimento constou de duas parcelas de solo desprovido de vegetação; uma irrigada e outra seca, com repetição de dois períodos. Foram realizadas leituras de reflectância em 8 comprimentos de onda - 450, 500, 550, 600, 650, 750, 850 e 1050 nm. A finalidade do trabalho foi acompanhar o comportamento espectral desse solo sob diferentes condições hídricas, além de caracterizar a influência das direções de observação de 0° e 90° (ângulo azimutal) no comportamento e na possibilidade de diferenciação espectral das duas parcelas. No estágio inicial (solo preparado e seco) as duas parcelas apresentavam superfícies semelhantes, ou seja, com agregados relativamente grandes e rugosidade pronunciada. Quando se procedeu à irrigação, na parcela que recebeu água houve desagregação dos aglomerados em partículas mais finas. Com isso essa parcela sofreu um rearranjo das partículas, com a consequente disposição mais junta e ordenada dessas partículas. Isso fez com que a superfície da parcela úmida ficasse mais uniforme em termos de rugosidade superficial. Nessa situação, em que o mesmo alvo sob a mesma condição de iluminação é observado sob diferentes ângulos, o efeito de sombreamento assume importância que é função do posicionamento do observador e da fonte de iluminação. Esse efeito do ângulo de observação é importante à medida que pode mascarar ou realçar diferenças entre dois alvos espectralmente distintos. São apresentados resultados e discussões das implicações da metodologia de leitura sobre o comportamento espectral dos alvos.			
15. Observações			

AGRADECIMENTO

Ao pesquisador Dr. Michikazu Fukuhara pelo empréstimo do espectroradiômetro utilizado no experimento; e ao CPAC/EMBRAPA pelas facilidades colocadas à disposição.

ABSTRACT

An experiment conducted on an Oxisol in Central Brazil is described. The experiment consisted of two bare soil plots, an irrigated one and a dry one, with two repetition times. A reflectance factor over 8 wavelengths - 450, 500, 550, 600, 650, 750, 850 and 1050 nm - was obtained. The objectives of this research were to attend the soil spectral behaviour under different moisture conditions, as well as to characterize the 0° and 90° (azimuthal angles) observation directions influences on behaviour and differentiation possibility between two plots. At initial stage, before irrigation, both plots presented similar surfaces characterized by relatively large soil aggregates and accentuated roughness. During irrigation, the aggregates of the plot being irrigated were dispersed into finer particles and reordered into a more compact sediment layer. As a result, the surface of this plot had a homogeneously smoother surface than the monirrigated plot. In this situation, when the same target under the same illumination condition is observed under different angles, the shadow effects assumes importance that is function of the observer and the illumination source positions. This effect of observation angle is important because it can mask or enhance differences between two spectrally distinct targets. Results and discussions about implication of the readings methodology on the targets spectral behaviour are presented.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>vii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>ix</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - MATERIAL E MÉTODOS</u>	5
<u>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	13
<u>CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES</u>	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Esquema do experimento com indicações das duas direções de observação e da trajetória do Sol	10
2.2 - Ângulos envolvidos na radiometria de campo, adaptado de Egbert e Ulaby (1972)	11
3.1 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (11/09/81)	14
3.2 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (12/09/81)	14
3.3 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (13/09/81)	15
3.4 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (14/09/81)	15
3.5 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (15/09/81)	16
3.6 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (11/09/81) - Irrigação em 10/09/81	16
3.7 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (12/09/81)	17
3.8 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (13/09/81)	17
3.9 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (14/09/81)	18
3.10 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (15/09/81)	18
3.11 - Modelo de superfície iluminada por fonte fixa e observada sob dois ângulos de observação	21
3.12 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (11/09/81) - Irrigação em 10/09/81	25
3.13 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (12/09/81)	25
3.14 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (13/09/81)	26
3.15 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (14/09/81)	26
3.16 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (15/09/81)	27

	<u>Pág.</u>
3.17 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (11/09/81) - Irrigação em 10/09/81	27
3.18 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (12/09/81)	28
3.19 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (13/09/81)	28
3.20 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (14/09/81)	29
3.21 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (15/09/81)	29
3.22 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (17/09/81) - Irrigação em 16/09/81	30
3.23 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (18/09/81)	30
3.24 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (19/09/81)	31
3.25 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (20/09/81)	31
3.26 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (21/09/81)	32
3.27 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (22/09/81)	32
3.28 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (23/09/81)	33

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Retençãõ de Umidade e Densidade do Solo a v̄arias profundida des	6
2.2 - Dados Clim̄aticos de Formosa/Goīas - m̄edia de 35 anos (15 ⁰ 32' S, 47 ⁰ 18' W, 912m s.n.m.)	7
3.1 - Resultados do Teste Estat̄istico de <i>t</i> para observações parea das	23

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Nos anos 70 o programa de satélites de recursos naturais teve sua definitiva aceitação, e grandes esforços têm sido feitos na direção de um contínuo aperfeiçoamento. A par desse progresso tecnológico tem havido constante procura de entendimento do comportamento dos alvos naturais quanto às interações com a energia eletromagnética.

Essas interações têm interesse à medida que o conhecimento da resposta do alvo em face de determinadas condições permite que uma resposta semelhante obtida em outras ocasiões seja associada àquelas condições conhecidas, ou seja, permite que se façam inferências sobre as condições do alvo. Nesse sentido, em todas as faixas espectrais nas quais é possível a operação de sensores remotos estão sendo estabelecidas relações que possibilitem maior segurança na interpretação dos sinais captados pelos sensores.

A desvinculação entre a interpretação de dados de sensoriamento remoto obtidos ao nível de aeronave ou satélite e o conhecimento das várias interações entre a energia e o alvo que ocorrem num nível mais primário, leva a uma subutilização daqueles grandes sistemas de coleta de dados. Com essa desvinculação, sem conhecimentos básicos, há cada vez mais a tendência a uma acentuação da distância entre o que está sendo desenvolvido e o que pode ser desenvolvido em termos de sensoriamento remoto. A necessidade de aquisição desses conhecimentos de base em centros de pesquisas nacionais é importante, pois se não corre-se o risco de haver a perda da capacidade de interpretação de produtos mais sofisticados (como os dos satélites da nova geração) num prazo não muito longo. Esse prazo pode ser grosseiramente definido como o tempo que transcorre entre o surgimento desses novos produtos e o desaparecimento dos produtos atualmente utilizados em larga escala.

Necessita-se, além disso, não só do aprofundamento em áreas de estudo que envolvam as faixas espectrais tradicionais de uso em sensoriamento remoto. É imperioso o início e o desenvolvimento de estudos em faixas espectrais não-tradicionais como nas do infravermelho termal, microondas e radar. Como a utilização de sensores nestas faixas espectrais tem adquirido grande velocidade, o fosso existente entre o estágio de conhecimento no Brasil e em outros centros no exterior já é de difícil transposição. Portanto, se a ação não for rápida, o País correrá o risco de se ver marginalizado dessas áreas de conhecimento do sensoriamento remoto.

Deste modo, este trabalho pode ser situado no contexto de aquisição de conhecimentos primários sobre a interação da energia eletromagnética com alvos naturais de ocorrência generalizada no Brasil.

Os estudos que têm em vista o maior entendimento da interação entre a energia e as superfícies, ao nível de campo, foram realizados por diversos autores que procuraram analisar aspectos das feições superficiais e suas respostas espectrais em várias faixas do espectro eletromagnético.

Entre esses aspectos das feições superficiais a influência da vegetação tem merecido grande destaque. Vários aspectos relacionados à distribuição espacial das culturas, espaçamento, altura, área foliar, etc. foram analisados por diversos autores como Kollenkark et alii (1982 a,b) e Kirchner et alii (1982).

Especificamente relacionados a solos têm surgido estudos que visam à diferenciação de diversos tipos de solos, à avaliação da influência das várias propriedades dos solos na sua resposta espectral, ou à combinação desses dois objetivos.

Dentre os trabalhos que visam à diferenciação de solos, Stoner et alii (1979) observaram que dois diferentes tipos de solos apresentaram comportamentos espectrais distintos. Entretanto, quando

foram submetidos a diferentes porcentagens de umedecimento, embora houvesse diminuição de valores de reflectância, a resposta espectral manteve a proporcionalidade em relação ao solo seco. Cipra et alii (1980), utilizando dados digitalizados do LANDSAT e espectroradiômetro de campo, conseguiram separar 16 tipos de solos em 5 grupos espectralmente distintos. Também Crown e Pawluk (1974) e Valério Filho et alii (1976) mostraram a possibilidade de discriminação entre vários tipos de solos com base em dados de reflectância espectral.

Bowers e Hanks (1965), avaliando a influência da umidade no comportamento espectral de solos, observaram uma relação inversa entre umidade e reflectância. Também outros autores como Condit (1970), Cipra et alii (1971), Kristof et alii (1980), Stoner e Baumgardner (1980), Stoner et alii (1980) e Epiphanyo e Formaggio (1982) confirmaram a diminuição da reflectância quando o solo é umedecido.

Quando o solo recebe uma parte de água, há a formação de uma camada superficial na forma de crosta (Hoffer e Johansen, 1969). Orlov (1966) e Montgomery et alii (1976) discutiram o aspecto da rugosidade superficial e mostraram que há uma diminuição da reflectância quando o diâmetro dos agregados é aumentado. Com o incremento da rugosidade superficial há um maior espalhamento da luz e um aumento do efeito de sombreamento (Cipra et alii, 1971; Janza, 1975).

Coulson e Reynolds (1971), avaliando a reflectância de alvos naturais, concluíram que a maior complexidade da superfície levava a uma diminuição da reflectância, principalmente quando havia um aumento do ângulo de elevação solar. Egbert e Ulaby (1972), fazendo medidas de reflectância, observaram grande variação de valores quando foram feitas diversas combinações entre ângulo azimutal, ângulo de incidência e altitude solar, e concluíram que deve ser feito um estudo da melhor combinação desses parâmetros para obter a máxima diferenciação entre os alvos de interesse.

A presente pesquisa trata da observação do comportamento espectral de um tipo de solo quando sujeito a variantes como umidade e ângulo de observação (ângulo azimutal). O que se pretende é dar um passo a mais no conhecimento espectral de solos da região tropical, com vistas numa melhor interpretação sobre produtos obtidos em outros níveis de coleta de dados e numa melhor programação de trabalhos de radiometria de campo.

CAPÍTULO 2

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Estação Experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), no município de Planaltina - DF. As coordenadas de sua estação climatológica principal são $15^{\circ} 35' 35''$ S e $47^{\circ} 42' 30''$ W.

Geologicamente a área é caracterizada pela ocorrência de quartzitos, filitos e xistos do Pré-Cambriano, e por sedimentos de Idade Terciária-Quaternária, encontrados sob a forma de material de cobertura nas partes mais elevadas. O quadro geomorfológico da área da Estação Experimental corresponde à Chapada, aos "glacis" (de erosão e acumulação) e aos aluviões da margem esquerda do córrego Sarandi (EMBRAPA, 1977).

O solo no qual foi instalado o experimento é um Latossolo Vermelho-escuro. É descrito como muito profundo, bem drenado, altamente permeável; de baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca catiônica e de retenção de umidade; ácido e com alta saturação de alumínio trocável em todo o perfil (EMBRAPA, 1976).

Na Tabela 2.1 são apresentadas as características de densidade e retenção de umidade a várias profundidades desse solo. Os dados climáticos da região estão apresentados na Tabela 2.2 e referem-se à média de 35 anos. A estação cujos dados são apresentados localiza-se 60 km ao norte da área do Distrito Federal.

O experimento foi realizado no mês de setembro de 1981, época seca na região, em duas parcelas de $12,5 \text{ m}^2$ cada uma. O solo estava desprovido de vegetação e preparado para plantio, isto é, arado, gradeado e revolvido por enxada rotativa.

TABELA 2.1

RETENÇÃO DE UMIDADE E DENSIDADE DO SOLO A VÁRIAS PROFUNDIDADES

PROFUN- DIDADE (cm)	TENSÃO (ATMOSFERA)						AD(3)	PROFUN- DIDADE (cm)	DENSI- DADE
	SATURADO	0,1	0,3	0,8	3	1,5			
0 - 10	69,04 (1) 0,601 (2)	29,42 0,256	26,46 0,230	24,91 0,217	22,22 0,193	19,68 0,171	9,74	10	0,87
10 - 20	71,35 0,628	29,47 0,259	26,89 0,237	25,09 0,221	22,68 0,200	20,22 0,178	9,25	20	0,88
20 - 30	68,38 0,609	29,67 0,264	26,48 0,236	24,84 0,221	22,24 0,198	20,26 0,180	9,41	30	0,89
30 - 45	72,92 0,664	30,24 0,275	27,34 0,249	25,29 0,230	23,58 0,210	20,55 0,187	9,69	60	0,99
								80	1,00

FONTE: Luchiani Jr. (comunicação pessoal)

(1): dados em percentagem de peso

(2): dados em conteúdo volumétrico (cm^3 de água)/(cm^3 de solo)

(3): água disponível, considerada como a diferença entre a umidade a 0,1 e 15 atmosferas.

TABELA 2.2

DADOS CLIMÁTICOS DE FORMOSA/GOIÁS - MÉDIA DE 35 ANOS (15° 32' S, 47° 18' W, 912m s.n.m.)

MESES	PRESSÃO ATMOSFÉRICA DO AR	TEMPERATU- RA MÉDIA (°C)	TEMPERATU- RA MÍNIMA (°C)	TEMPERATU- RA MÁXIMA (°C)	UMIDADE RE- LATIVA DO AR (%)	NEBULOSI- DADE (0-10)	PRECIPITA- ÇÃO (mm) MÊ- DIA MENSAL	PRECIPITA- ÇÃO MÁXIMA EM 24 HORAS (mm)	EVAPORAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)
Jan.	909,5	22,0	17,8	27,4	80,2	7,7	271,9	100,7	73,2	180,5
Fev.	909,6	22,1	18	27,8	80,8	7,7	204,2	85,0	63,7	159,3
Mar.	909,8	21,9	17,9	27,6	81,5	7,5	220,6	92,5	67,1	186,8
Abr.	910,9	21,5	17,0	27,6	77,3	6,2	42,7	77,8	75,3	222,2
Mai	912,2	20,1	14,8	27,0	71,4	4,8	17,0	41,8	97,8	270,3
Jun.	913,6	19,0	13,1	26,4	66,0	3,8	3,2	18,0	113,0	279,9
Jul.	914,1	18,9	12,6	26,3	59,4	3,4	5,5	25,2	141,3	278,0
Ago.	913,2	20,7	13,7	28,4	49,6	2,7	2,5	45,8	188,3	303,2
Set.	911,5	22,8	16,2	30,1	51,7	4,0	30,0	63,6	189,2	236,2
Out.	910,1	22,9	17,8	29,2	66,0	6,7	127,1	103,4	138,1	200,7
Nov.	908,8	21,6	18,0	27,4	79,3	8,3	255,3	107,5	75,2	142,7
Dez.	908,8	21,9	18,1	26,6	83,0	8,5	342,5	124,9	60,8	125,1
Ano	911	21,3	16,2	27,6	70,6	5,9	1.572,5	1.283,0	1.283,0	2.614,9

FONTE: EMBRAPA (1976), p. 21.

No experimento uma das parcelas foi intensamente irrigada, de modo que o solo ficou completamente saturado. Aí iniciaram-se as medidas de reflectância e a coleta de amostras de solo a cinco profundidades para as determinações de umidade. Deixou-se que essa parcela irrigada sofresse o processo natural de perda de água por percolação e evaporação, sem sofrer irrigações até o dia do encerramento de um ciclo de leituras. Foram dois os ciclos de leituras: de 11-15/09/81 (irrigação em 10/09) e de 17-23/09/81 (irrigação em 16/09).

As determinações de umidade foram feitas pelo método gravimétrico, em que a amostra era pesada antes e depois da secagem por 24 horas em estufa a 105°C, obtendo-se então a umidade em percentagem do peso seco do solo. As amostras foram diariamente coletadas às profundidades de 2, 5, 10, 20 e 30 cm.

As leituras de reflectância foram realizadas com um radiômetro portátil desenvolvido pela Chiba University, Japão (Emori et alii, 1972). Esse radiômetro opera com um sistema de filtros, os quais determinam o comprimento de onda da observação. Por comparação entre as radiâncias do alvo e as de um painel branco (sulfato de bário) obtém-se a reflectância do alvo.

As medidas foram realizadas em 8 comprimentos de onda diferentes: 450, 500, 550, 600, 650, 750, 850 e 1050 nm. Para cada comprimento foram feitas três leituras de radiância em locais diferentes da mesma parcela e duas leituras no painel branco de radiância padrão. Através de cálculos adequados (Equação 2.1), obteve-se a reflectância para cada comprimento de onda.

$$\rho(\lambda) = 10^{-(\bar{o} - \bar{w})} \times 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$

onde:

$\rho(\lambda)$ = reflectância (em percentagem) para determinado comprimento de onda;

\bar{o} = média das três leituras feitas na parcela;

\bar{w} = média das duas leituras feitas no painel branco de referência.

Basicamente o que se pretende observar são dois fenômenos. O primeiro fenômeno é a observação do comportamento espectral do solo sob as duas condições hídricas quando as leituras são feitas sob dois ângulos de observação (azimute) diferentes. Para essa observação foi utilizado o primeiro período de irrigação (11 - 15/09). As setas de número 1 e 2 na Figura 2.1 indicam essas duas direções de observação. O segundo fenômeno a ser observado é uma visão temporal do comportamento espectral, lado a lado, das parcelas seca e úmida, à medida que esta última vai sofrendo a secagem natural. Para isto são utilizados dois períodos de leituras, de 11 - 15/09 (irrigação em 10/09) e de 17 - 23/09 (irrigação em 16/09), e a direção de observação número 1 (Figura 2.1).

Para melhor visualização dos ângulos envolvidos na radiometria de campo é apresentada a Figura 2.2. Nessa figura é importante ressaltar que o ângulo de incidência é aquele formado entre a direção perpendicular à amostra e a direção da linha que une a unidade óptica do sistema à amostra. No experimento procurou-se realizar as leituras sempre por volta das 9:00 horas (ângulo de altitude solar fixo), por ser o horário próximo ao da passagem dos satélites LANDSAT, e também para que esse não fosse um fator de influência na análise dos dados. A inclinação do radiômetro (ângulo de incidência) foi de 30° com a vertical. As variações foram feitas no ângulo ou direção de observação (ângulo azimutal), em que se procurou fazer as leituras segundo os ângulos de 0° e 90° .

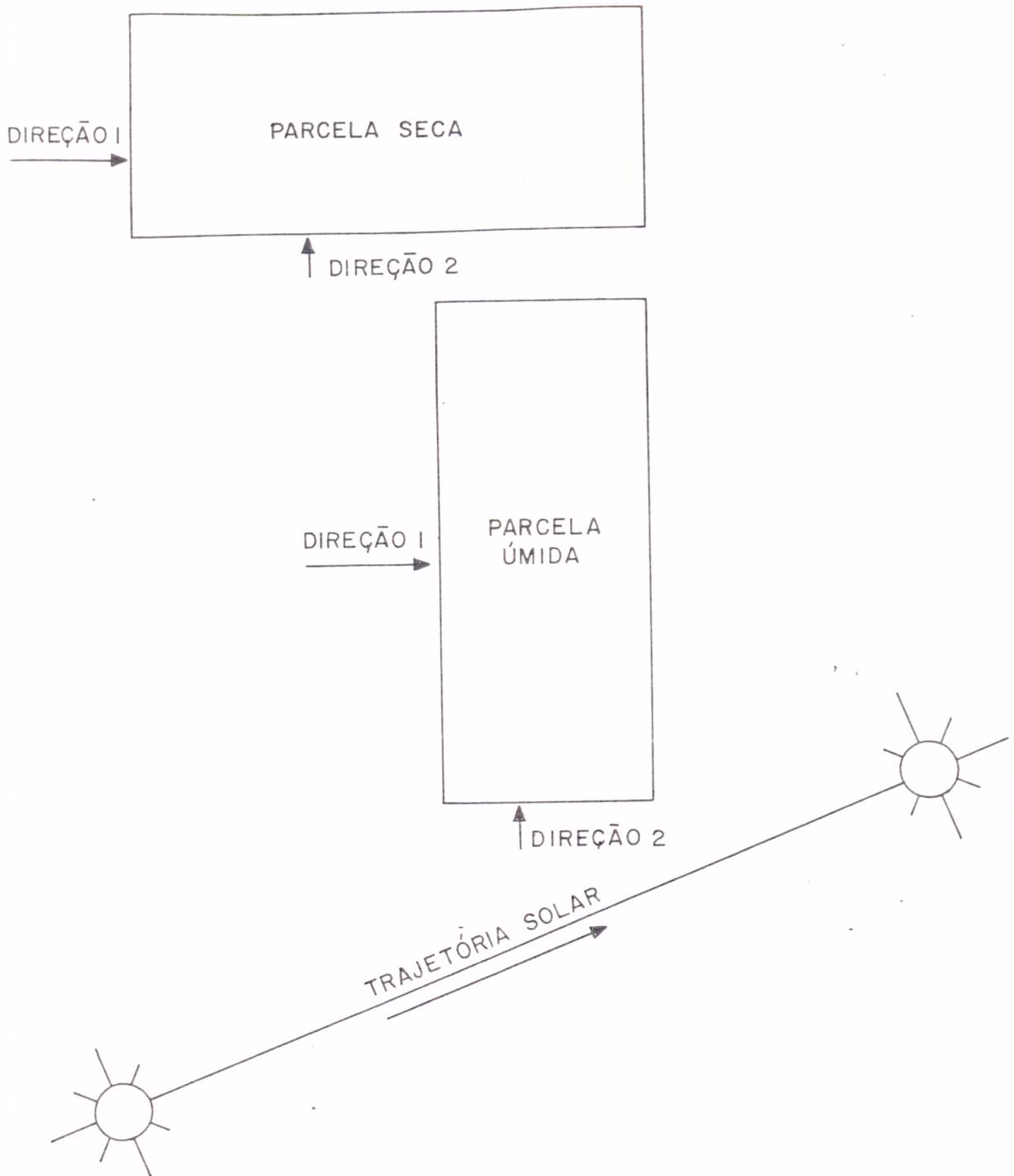


Fig. 2.1 - Esquema do experimento com indicações das duas direções de observação e da trajetória do Sol.

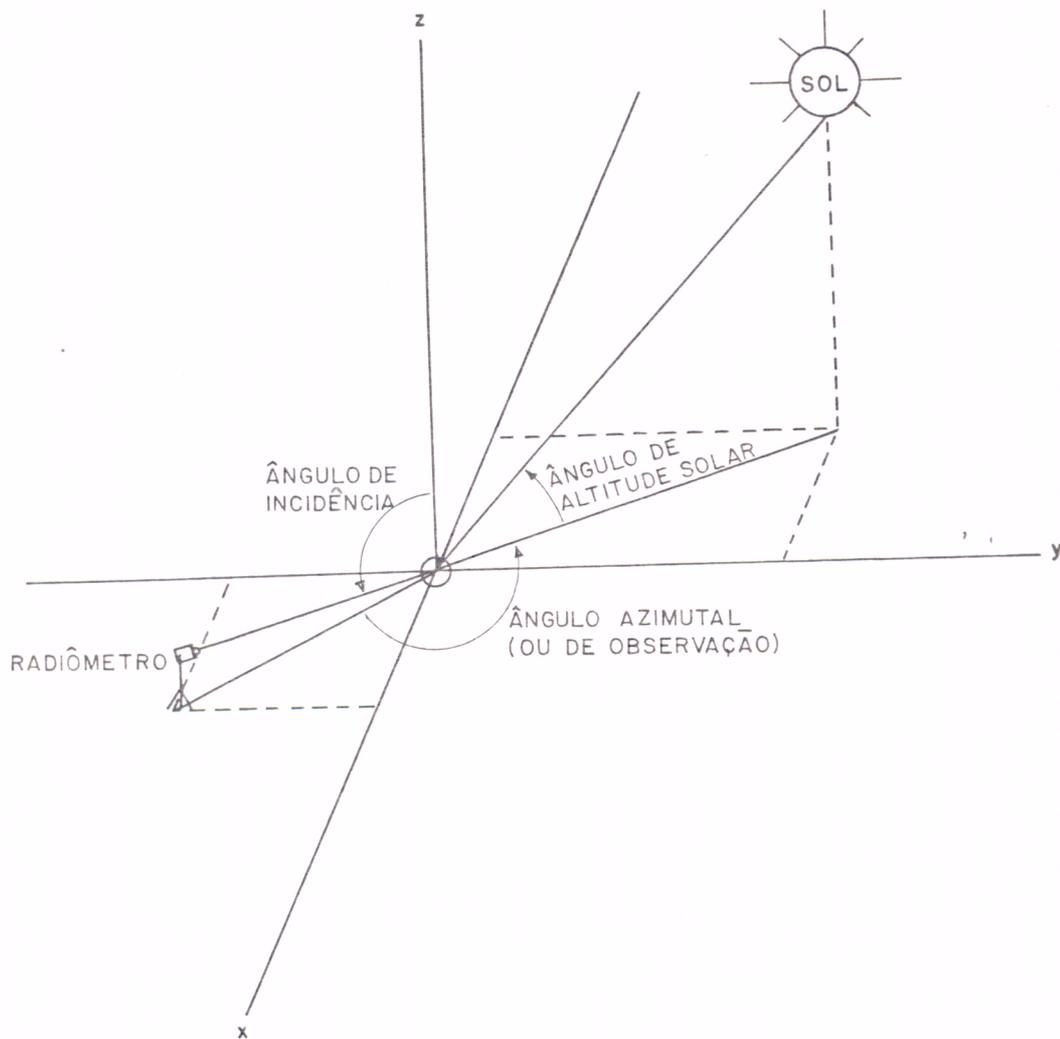


Fig. 2.2 - Ângulos envolvidos na radiometria de campo, adaptado de Egbert e Ulaby (1972).

CAPÍTULO 3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados em dois grupos distintos. O primeiro refere-se à análise da influência do ângulo de observação em relação ao sol (azimutal) sobre o comportamento espectral dos solos seco e úmido. O segundo grupo representa o acompanhamento da resposta espectral dos solos seco e úmido, sob um mesmo ângulo de observação, no transcorrer do período de secagem natural desse solo.

O primeiro grupo é representado pelas Figuras 3.1 a 3.10; nas Figuras 3.1 a 3.5 tem-se o comportamento espectral da parcela que não sofreu irrigação, e nas Figuras 3.6 a 3.10 tem-se o comportamento espectral da parcela que sofreu irrigação no dia 10/09/1981.

Na análise desse primeiro grupo alguns pontos devem ser destacados como, por exemplo, o fato de o solo que não sofreu irrigação (seco), de maneira geral, apresentar maiores valores de reflectância que o solo que foi irrigado (úmido). Esse aspecto será discutido mais detalhadamente quando se fizer a apresentação do segundo grupo de resultados.

Duas constatações evidenciam-se com muita clareza quando se observa esse primeiro grupo. Inicialmente vê-se que a curva de reflectância que representa a direção número 2 tem tendência a se apresentar com valores mais altos de reflectância que a de número 1, tanto na parcela seca quanto na úmida.

A segunda constatação é que as curvas de reflectância representativas das duas direções de observação têm tendências a se diferenciar com intensidades diferentes, caso a parcela seja seca ou úmida. Assim, enquanto na parcela úmida a separação entre as duas curvas é muito pequena, às vezes confundindo-se, na parcela seca a separação entre as curvas de reflectância nas duas direções de observação é muito marcante.

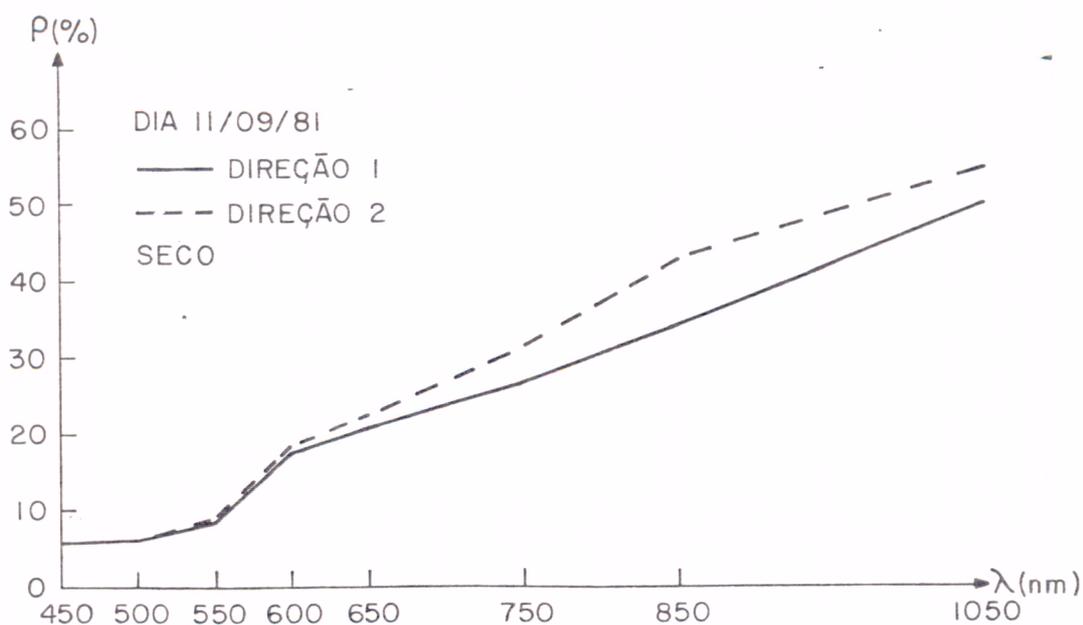


Fig. 3.1 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (11/09/81).

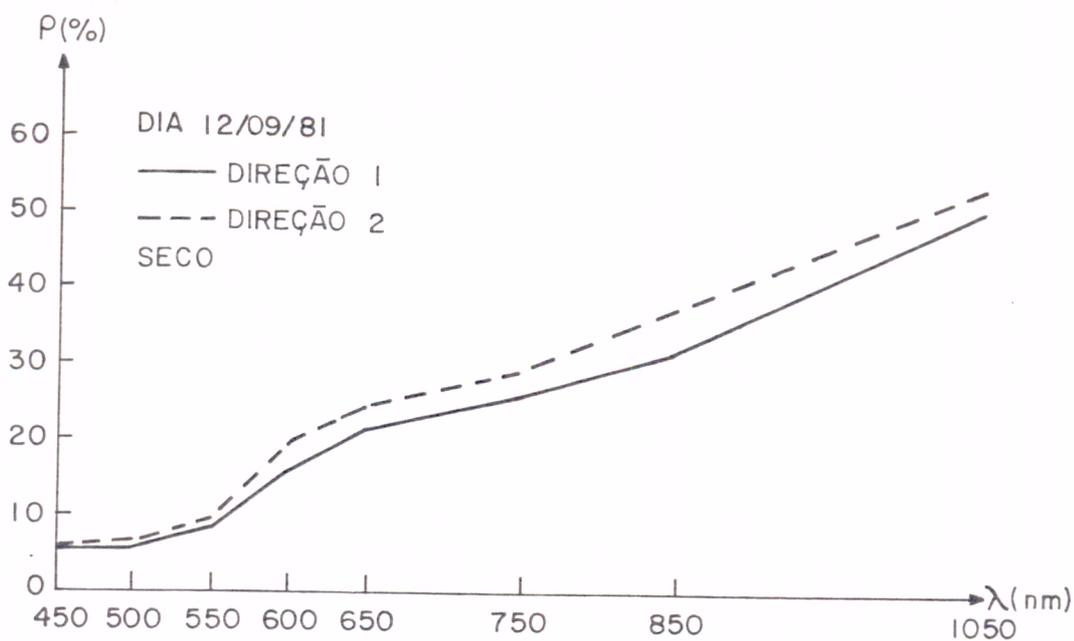


Fig. 3.2 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (12/09/81).

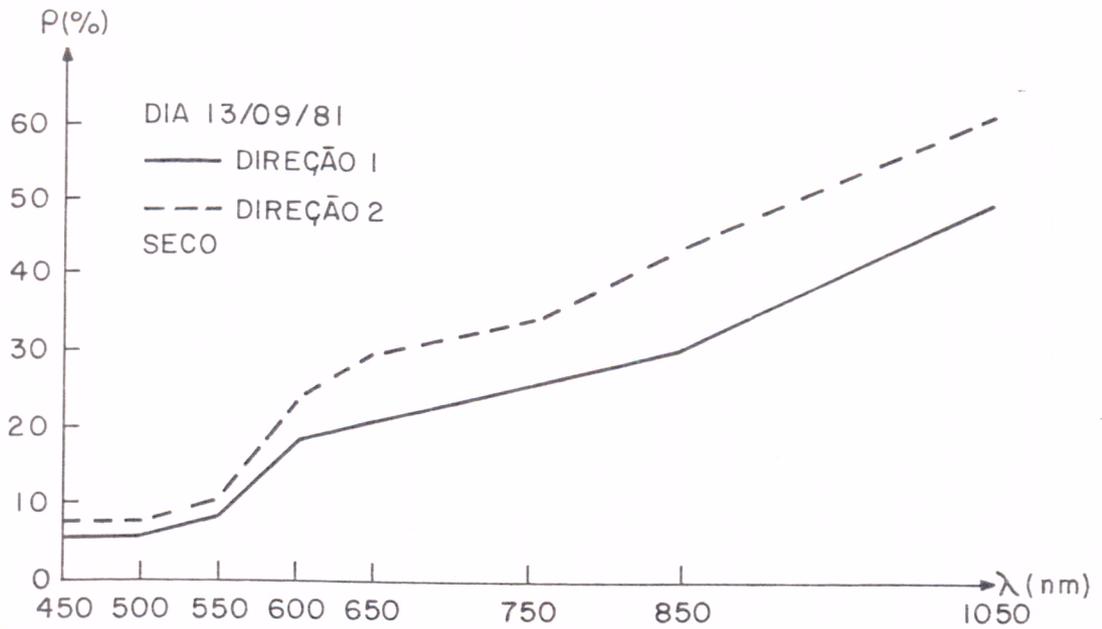


Fig. 3.3 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (13/9/81).

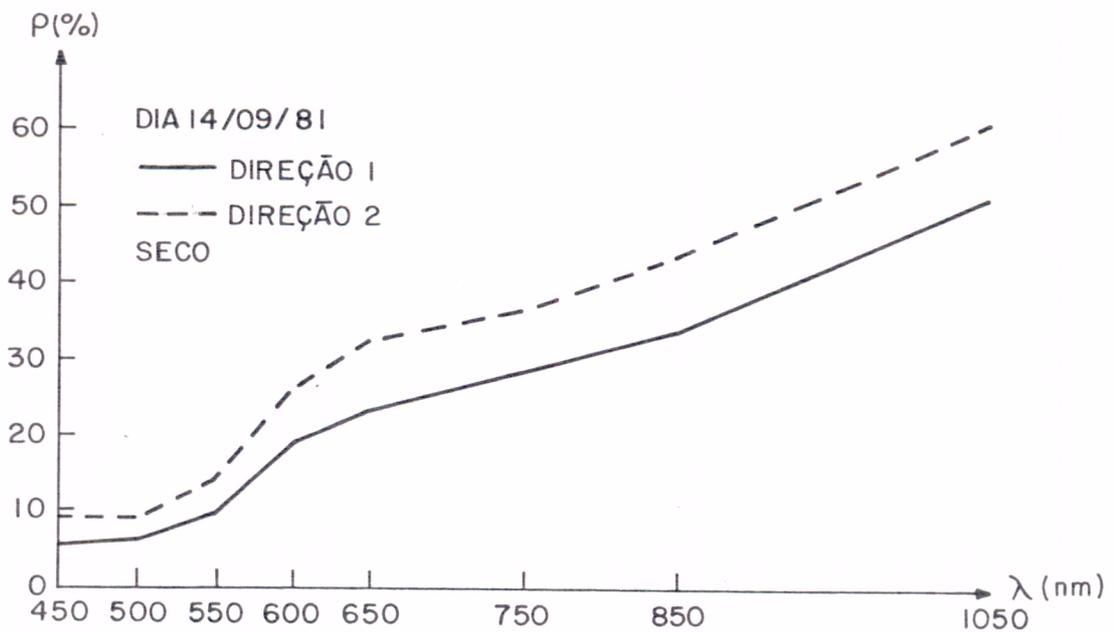


Fig. 3.4 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (14/9/81).

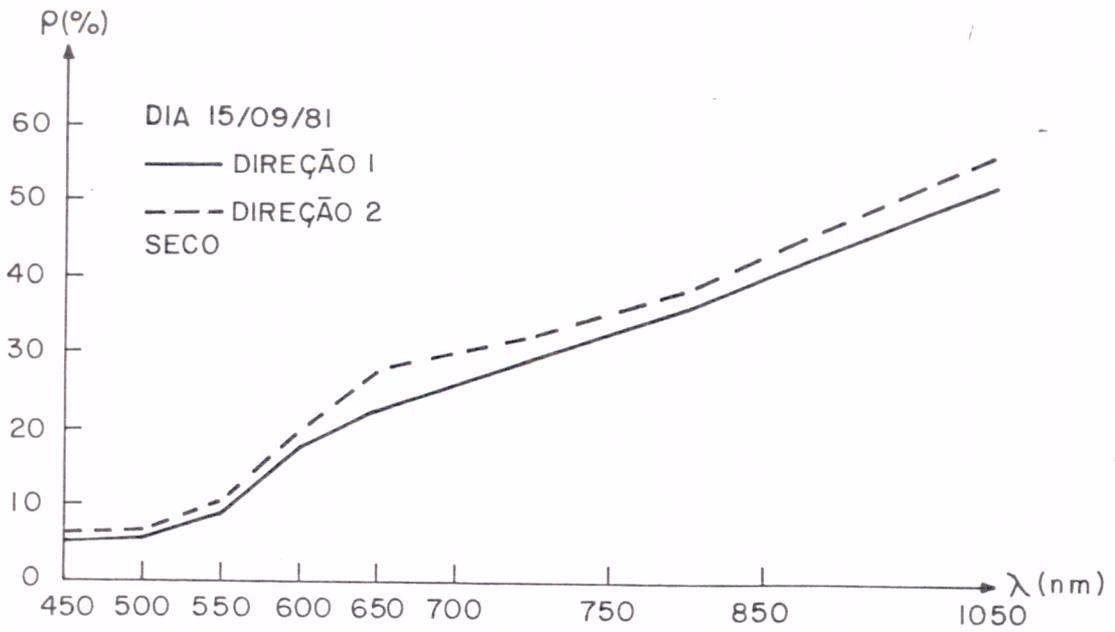


Fig. 3.5 - Comportamento espectral da parcela seca segundo as direções de observação 1 e 2 (15/9/81).

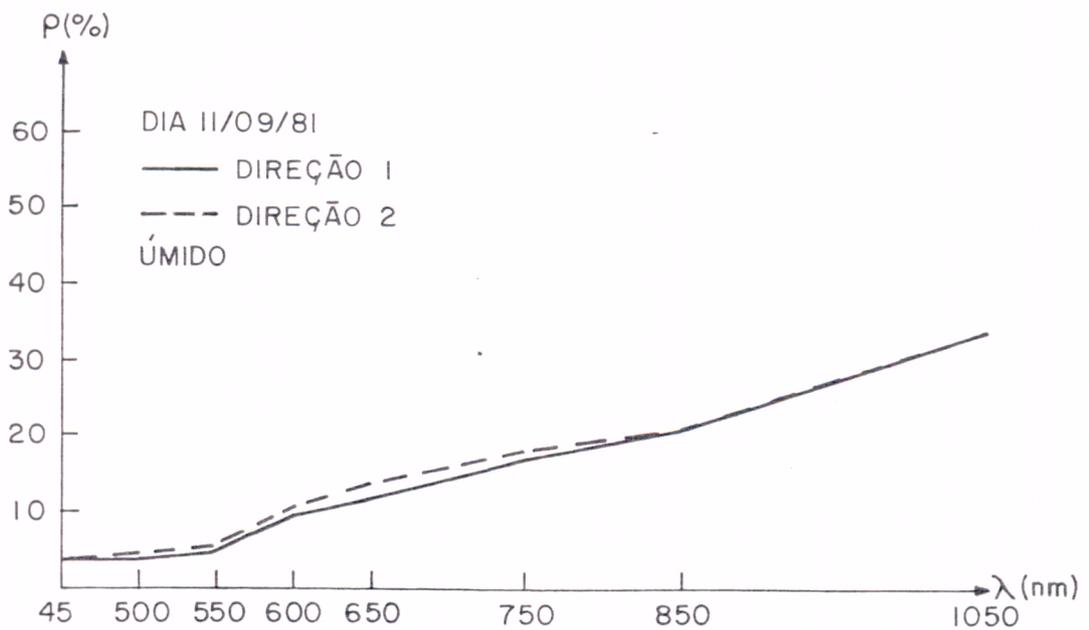


Fig. 3.6 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (11/9/81) - Irrigação em 10/9/81.

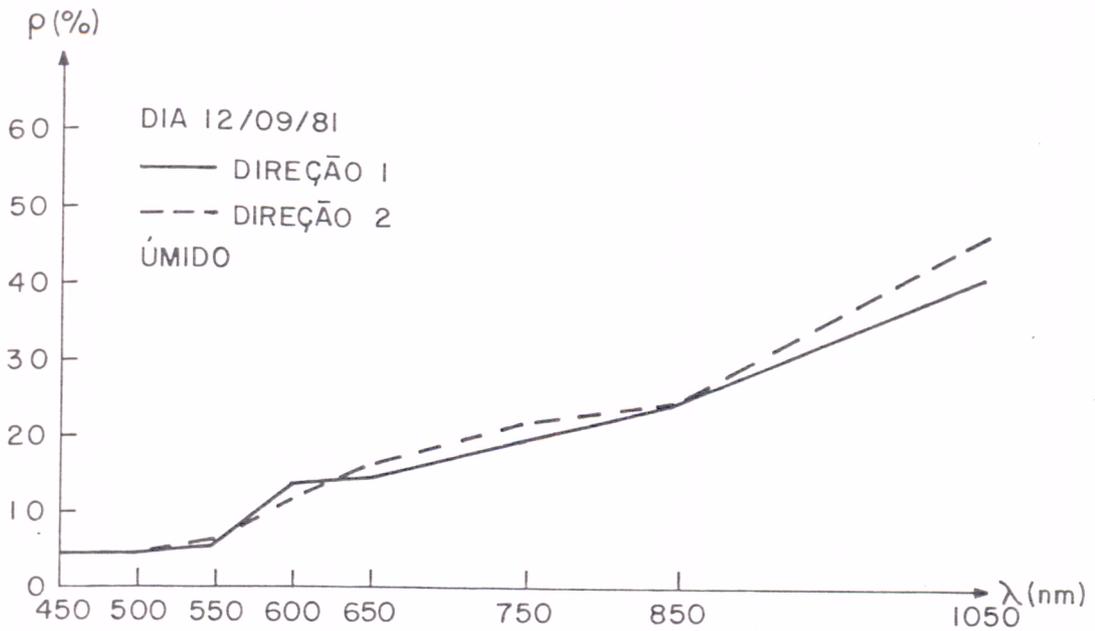


Fig. 3.7 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (12/9/81).

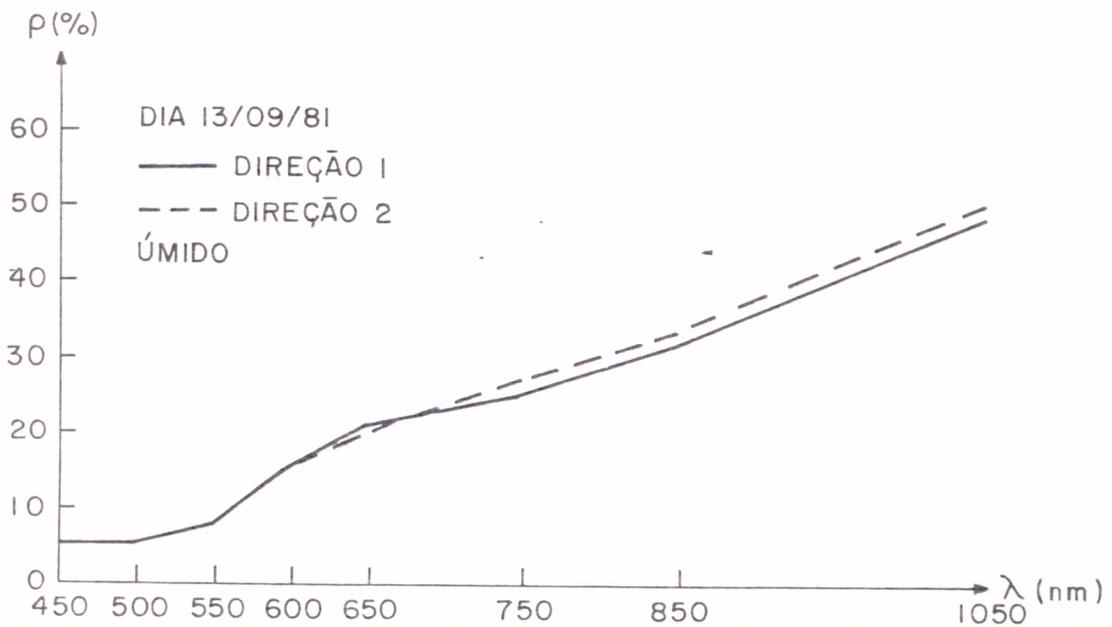


Fig. 3.8 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (13/9/81).

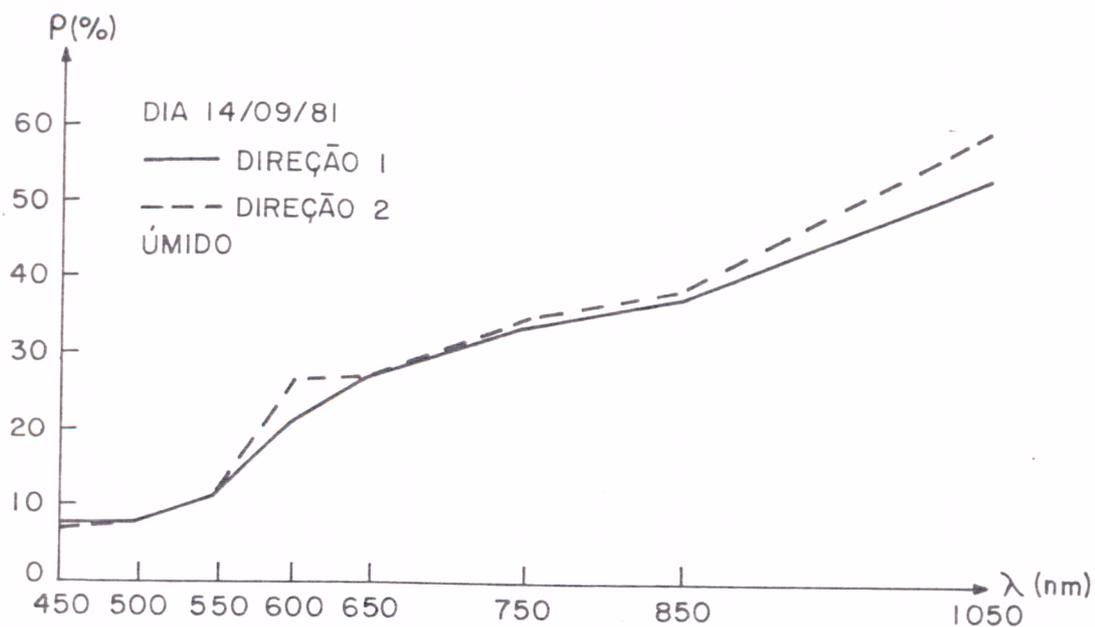


Fig. 3.9 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (14/9/81).

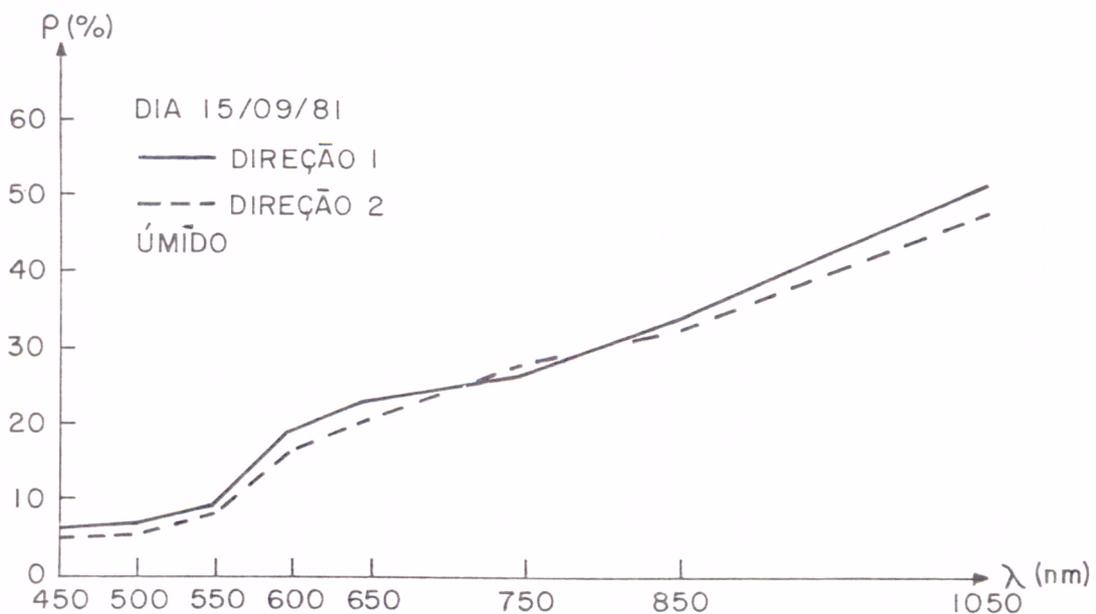


Fig. 3.10 - Comportamento espectral da parcela úmida segundo as direções de observação 1 e 2 (15/9/81).

Para a discussão desses resultados é necessário fazer uso da Figura 2.1, na qual se vê que a direção de observação número 2 (azimute de aproximadamente 0°) é relativamente perpendicular à trajetória do Sol. Isso faz com que os raios solares sejam paralelos à direção de observação. A direção de observação número 1 (azimute de aproximadamente 90°) é relativamente paralela à trajetória do Sol e, conseqüentemente, os raios solares são perpendiculares à direção de observação. Portanto, para uma fonte fixa - no caso o Sol - a direção de observação vai ser responsável pela visada de áreas com maior ou menor intensidade de sombreamento (Egbert e Ulaby, 1972).

Nesse ponto é importante introduzir na discussão o aspecto da rugosidade superficial como influenciadora da reflectância dos alvos. No experimento, as duas parcelas sofreram o mesmo tratamento inicial quanto ao preparo do solo, como já apresentado no Capítulo 2. Assim, pode-se supor que a rugosidade superficial das duas parcelas eram semelhantes antes de uma delas sofrer irrigação. Como o solo estava seco as partículas haviam-se agregado, formando uma superfície irregular quanto à rugosidade.

Quando se procedeu à irrigação, na parcela que recebeu água houve a desagregação dos aglomerados em partículas mais finas. Com isso essa parcela teve condição mais propícia de sofrer um rearranjo das partículas, com a conseqüente disposição mais junta e ordenada dessas partículas. Isso fez com que o solo tivesse maior uniformidade em termos de rugosidade superficial.

Assim, após a irrigação as duas parcelas do experimento passaram a ter aspectos superficiais bem diferentes. Na parcela seca a camada superficial era constituída de elementos de vários tamanhos, desde partículas soltas até agregados formando pequenos torrões, sem conexão entre si, com muitos espaços entre os vários elementos. Já na parcela úmida a superfície era bem uniforme, pouco rugosa, com as partículas muito juntas devido ao assentamento determinado pela irrigação.

Tendo em vista o aspecto da maior ou menor rugosidade, é interessante recorrer à Figura 3.11, onde é apresentada uma superfície iluminada por uma fonte estacionária desviada da vertical e observada segundo duas direções distintas. Essa foi a situação do experimento, onde se tinha o Sol como fonte estacionária inclinada e o espectrorradiômetro operando em duas direções perpendiculares entre si.

Nessa situação, em que o mesmo alvo sob a mesma condição de iluminação é observado sob diferentes ângulos, o efeito de sombreamento assume uma importância que é função do posicionamento do observador e da fonte de iluminação. Quanto mais inclinada for a fonte de iluminação, maior será o sombreamento resultante.

Assim, para a situação apresentada na Figura 3.11, quanto mais o sensor estiver orientado na direção e no sentido da iluminação solar (Figura 3.11b), menos sombra provocada pela rugosidade superficial será "vista". Quanto mais modificada for a direção de observação, mais área sombreada fará parte do campo de visada do instrumento (Figura 3.11a).

Essa variação no comportamento da resposta radiométrica em função da rugosidade superficial e do ângulo de observação pode ser apresentada como uma das causas da maior radiância observada quando o ângulo de visada é paralelo aos raios solares (azimute de 0^0). Quando as leituras são feitas nesta condição há uma maior contribuição das partes iluminadas diretamente pelos raios solares, enquanto as áreas sombreadas têm pequena contribuição para a resposta radiométrica. Por outro lado, quando as leituras são realizadas com o ângulo de visada (incidência) perpendicular aos raios solares as sombras produzidas aumentam em proporção, em detrimento das áreas diretamente iluminadas, causando diminuição da reflectância.

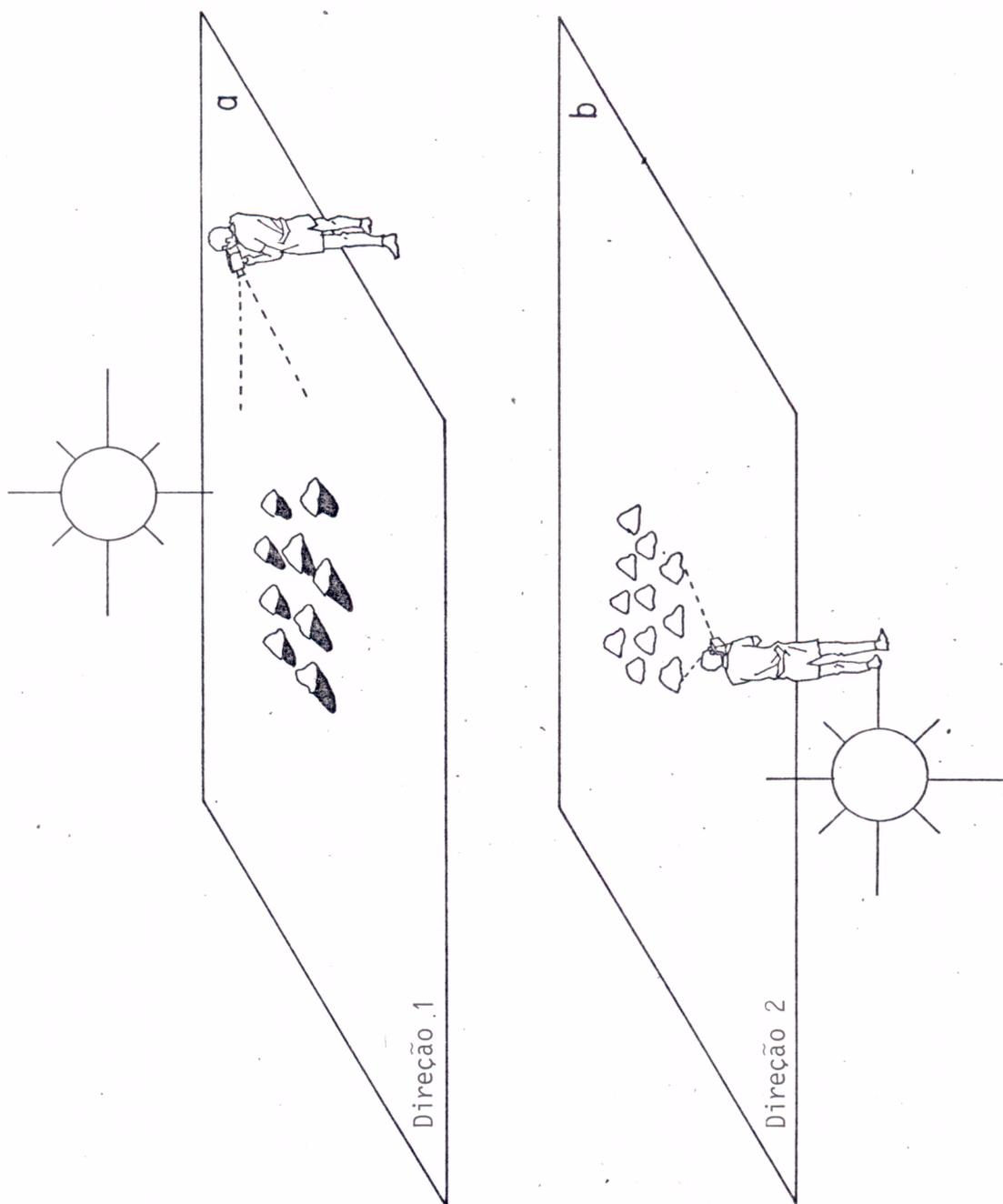


Fig. 3.11 - Modelo de superfície iluminada por fonte fixa e observada sob dois ângulos de observação.

Essa discussão assenta-se às observações realizadas no experimento. Nas Figuras 3.1 a 3.10 há uma forte tendência do condicionamento da maior ou menor reflectância em função da visada paralela ou perpendicular aos raios solares, respectivamente. Entretanto, esse condicionamento mostra-se mais acentuado na parcela seca (Figuras 3.1 a 3.5) que na úmida (Figuras 3.6 a 3.10). Como discutido anteriormente, o fato de a rugosidade ser maior origina uma formação de sombreamento mais elevada na parcela seca. Isso faz com que a direção de observação número 2 (azimute 0°) apresente valores de reflectância mais elevados que a direção número 1 (azimute 90°) tanto na parcela seca quanto na úmida, embora na seca essa caracterização fique muito mais pronunciada.

Muito embora seja difícil averiguar até que ponto essas interações que se mostram ao nível de radiometria de campo representam o comportamento ao nível de satélite, é importante que se tenha em mente a existência de diferença de resposta espectral em termos de ângulo de observação de um mesmo alvo. Se essa diferença tem reflexos significativos na radiometria a níveis mais elevados é uma questão a ser estudada.

Para analisar quantitativamente o efeito combinado da rugosidade e do ângulo de observação foi elaborada a Tabela 3.1, onde se tem para cada comprimento de onda a comparação entre as direções de observação 1 e 2, tanto para a parcela seca quanto para a úmida. Para a análise estatística dos dados foi utilizado o teste "two-tailed paired-sample t test" (Zar, 1974).

TABELA 3.1

RESULTADOS DO TESTE ESTATÍSTICO DE t PARA OBSERVAÇÕES PAREADAS

PERÍODO	FATORES EM ANÁLISE	CONDIÇÃO	COMPRIMENTO DE ONDA (nm)										t CRÍTICO (0,05)
			450	500	550	600	650	750	850	1050			
11/9 a	Direção 1 x	Solo seco	2,370	3,000(*)	2,880(*)	3,819(*)	4,203(*)	4,381(*)	4,323(*)	3,560(*)			
	Direção 2	Solo úmido	1,294	0,476	0,865	0,436	0,011	6,669(*)	0,978	1,099			
15/9	Seco x	Direção 1	0,245	0,410	0,944	0,871	0,901	1,005	1,164	1,511			
	Úmido	Direção 2	7,280(*)	6,988(*)	7,654(*)	3,044(*)	10,721(*)	3,411(*)	3,729(*)	3,015(*)			2,776
17/9 a 23/9	Seco x Úmido	Direção 1	1,502	0,298	0,100	0,599	0,564	0,018	0,159	0,786			2,447

H_0 : não há diferença entre os fatores em análise

(*): significativo ao nível de 0,05

O resultado da análise (Tabela 3.1) permitiu a verificação da significância da diferença entre as direções de observação 1 e 2. O efeito da rugosidade atuando de maneira diversa se o solo sofreu ou não irrigação fica bem caracterizado quando se comparam os níveis de significância para as parcelas seca e úmida. Para o solo seco, onde o efeito da rugosidade é mais pronunciado em todos os comprimentos de onda, exceto no de 450 nm, houve diferença significativa ao nível de 0,05 de significância. Já para a parcela úmida, que possuía a superfície menos rugosa, não houve diferença significativa entre as direções de observação 1 e 2, exceto para o comprimento de onda de 750 nm. Neste comprimento de onda, embora as diferenças de reflectância fossem pequenas, a direção de observação número 2 apresentou sempre valores de reflectância superiores aos da direção número 1.

Esses resultados demonstram a importância da direção de observação quando se têm superfícies que não apresentem rugosidades semelhantes. Se cuidados não forem tomados quando se realizarem leituras de reflectância no campo, poder-se-á incorrer no erro de obter diferenças de reflectância em superfícies semelhantes quando, na realidade, o problema pode estar relacionado à tomada de leituras sob ângulos diferentes. Para leituras de reflectância de solos é importante a observação da condição da rugosidade superficial aliada ao ângulo de tomada das leituras para não se incorrer em erros de interpretação.

Para a análise do segundo fenômeno, ou seja, o acompanhamento temporal da resposta espectral do solo seco e do solo úmido sob um mesmo ângulo de observação, são apresentadas as Figuras 3.12 a 3.28. Nas Figuras 3.12 a 3.16 estão apresentadas as curvas de reflectância das parcelas seca e úmida para a direção de observação número 1 (azimute 90^0), para o período de 11 a 15/09/1981; as Figuras 3.17 a 3.21 representam a direção de observação número 2 (azimute 0^0) para o mesmo período de leituras; e as Figuras 3.22 a 3.28 representam a direção de observação número 1 para o período de 17 a 23/09/1981. Para este último período não se dispõe de dados na direção de observação número 2.

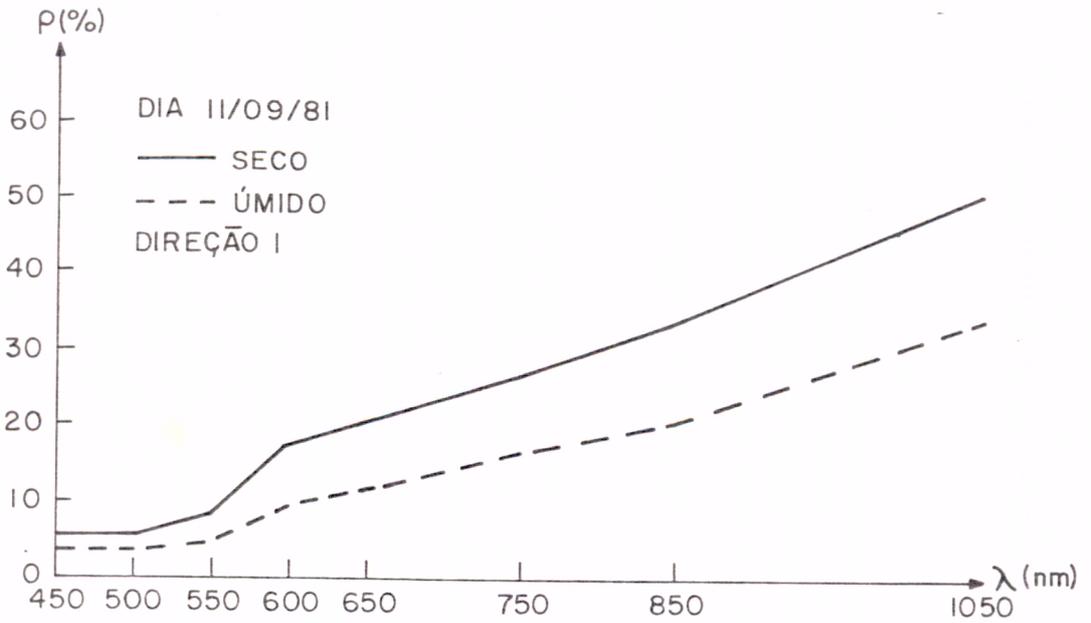


Fig. 3.12 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação I (11/9/81) - Irrigação em 10/9/81.

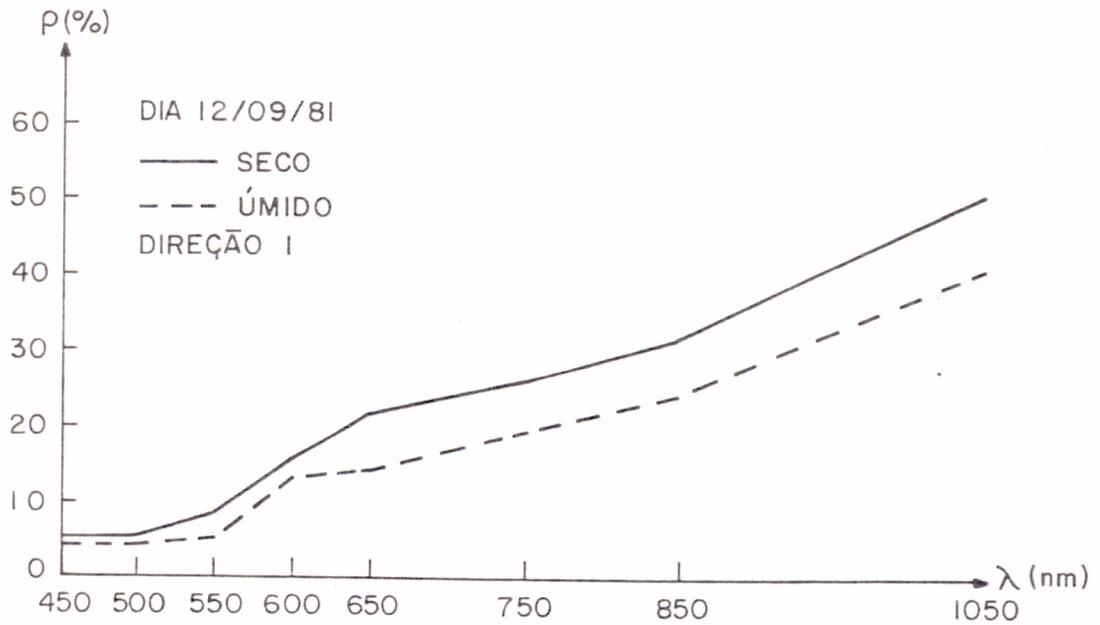


Fig. 3.13 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação I (12/9/81).

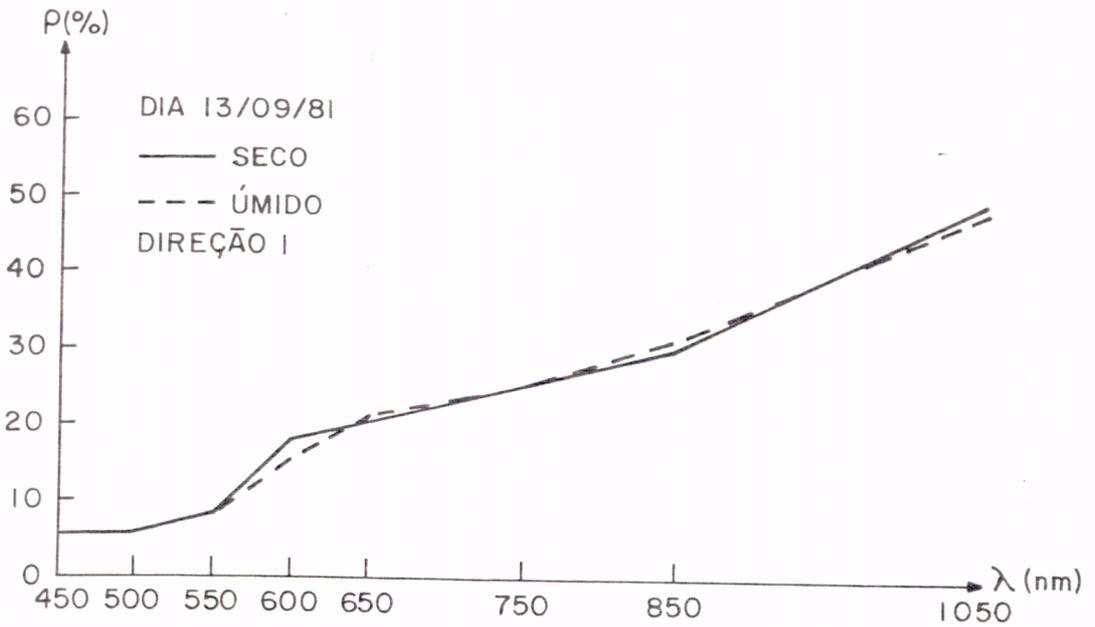


Fig. 3.14 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação I (13/9/81).

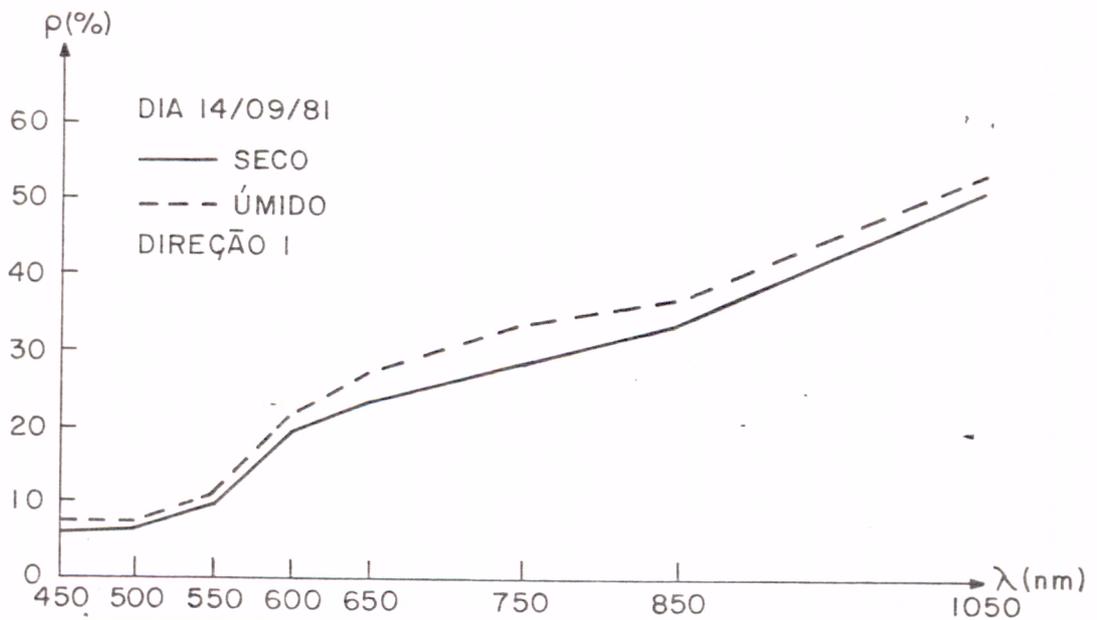


Fig. 3.15 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação I (14/9/81).

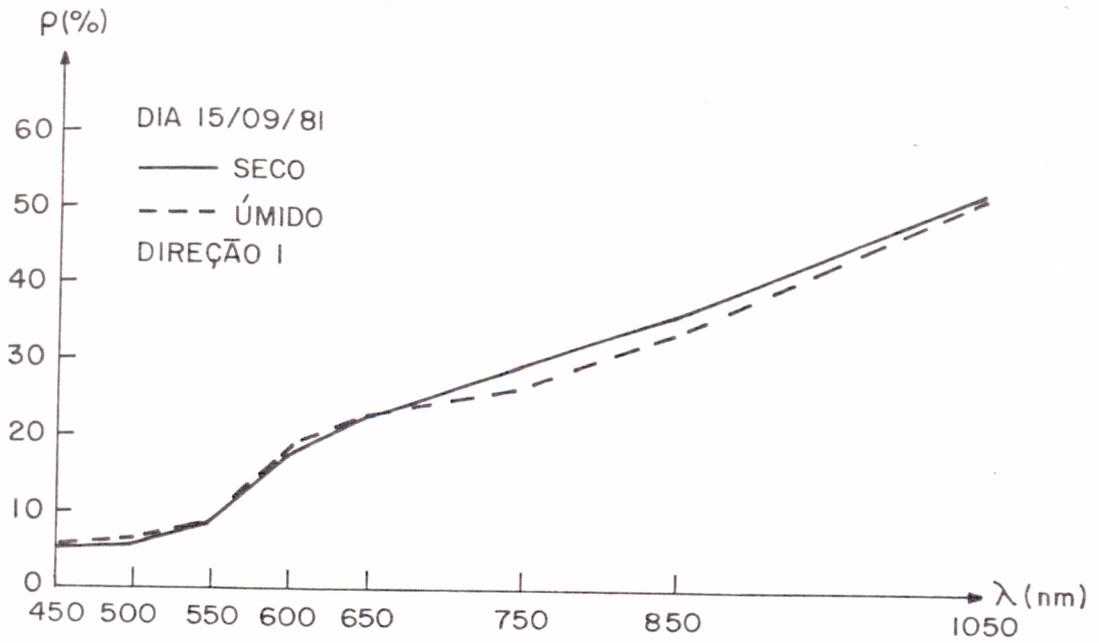


Fig. 3.16 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (15/9/81).

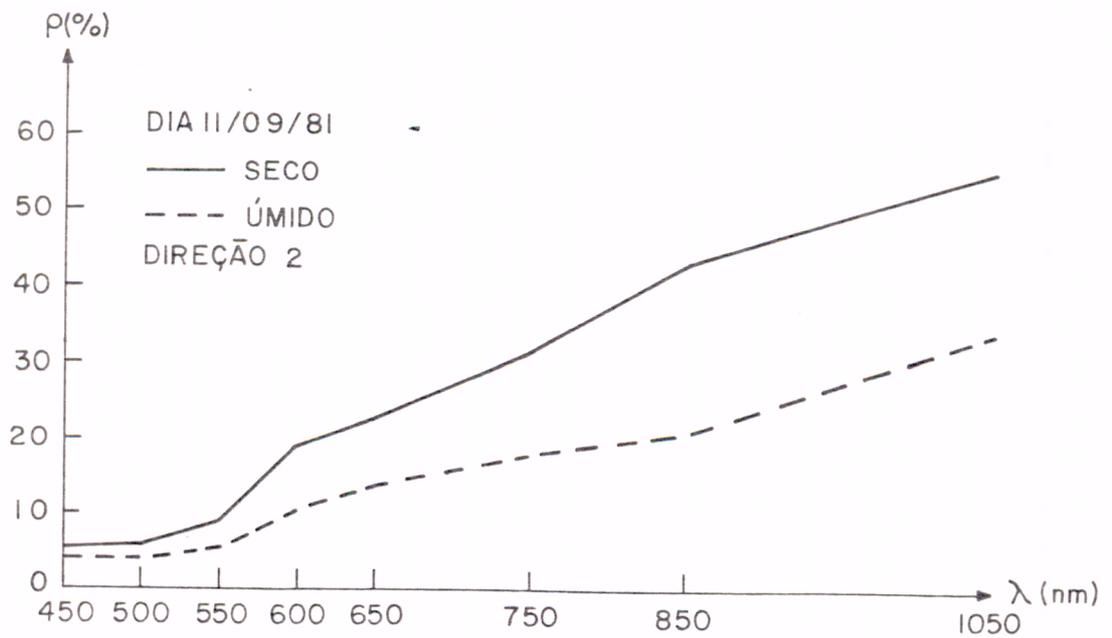


Fig. 3.17 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (11/9/81) - Irrigação em 10/9/81.

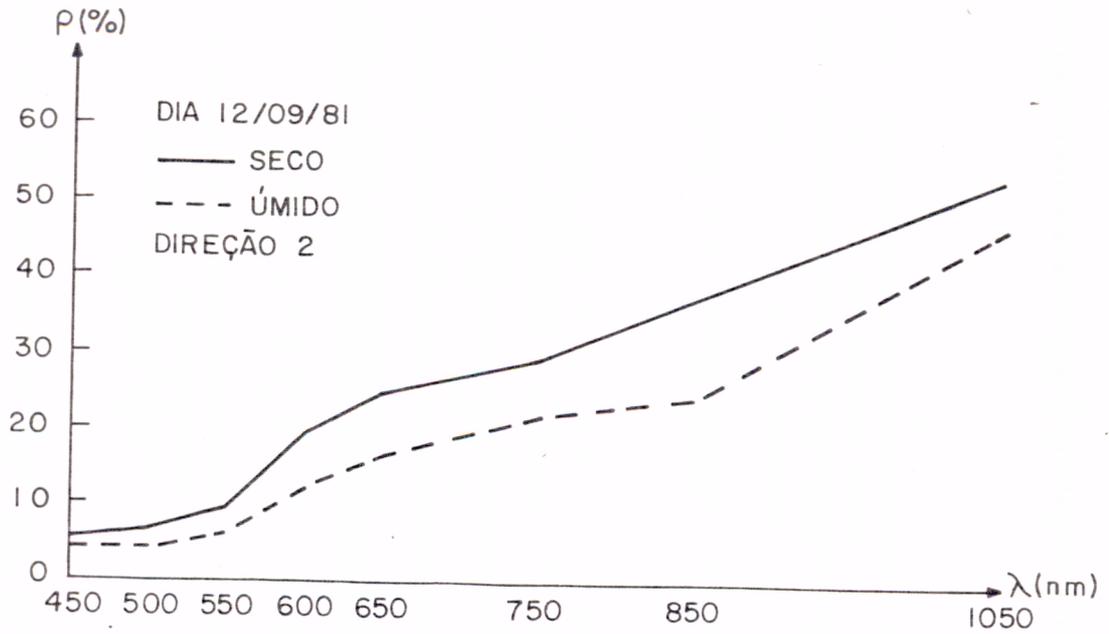


Fig. 3.18 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (12/9/81).

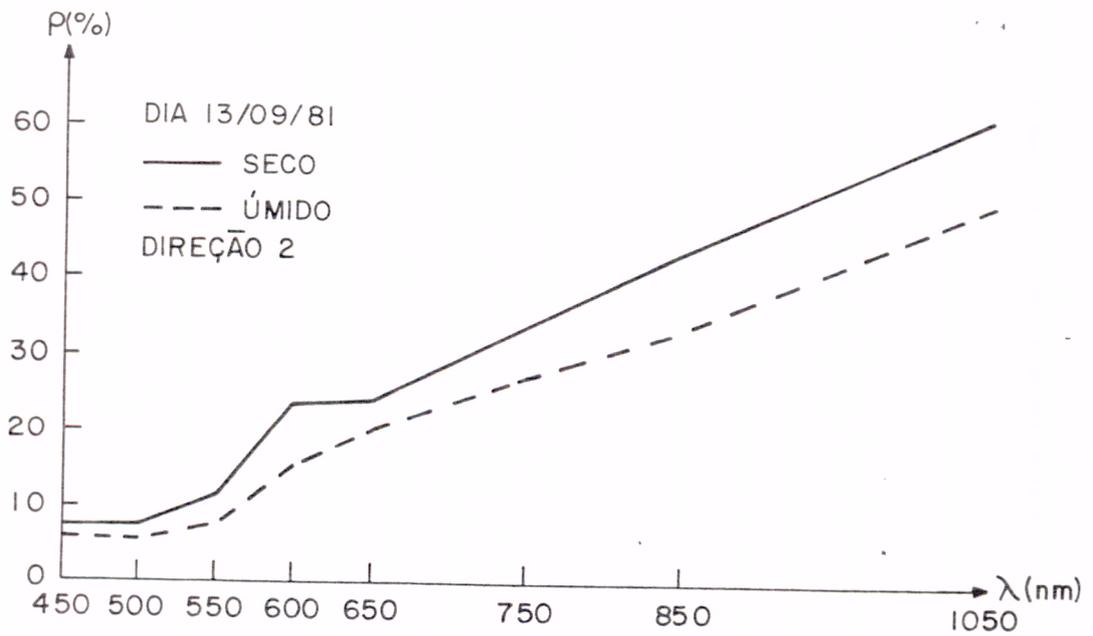


Fig. 3.19 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (13/9/81).

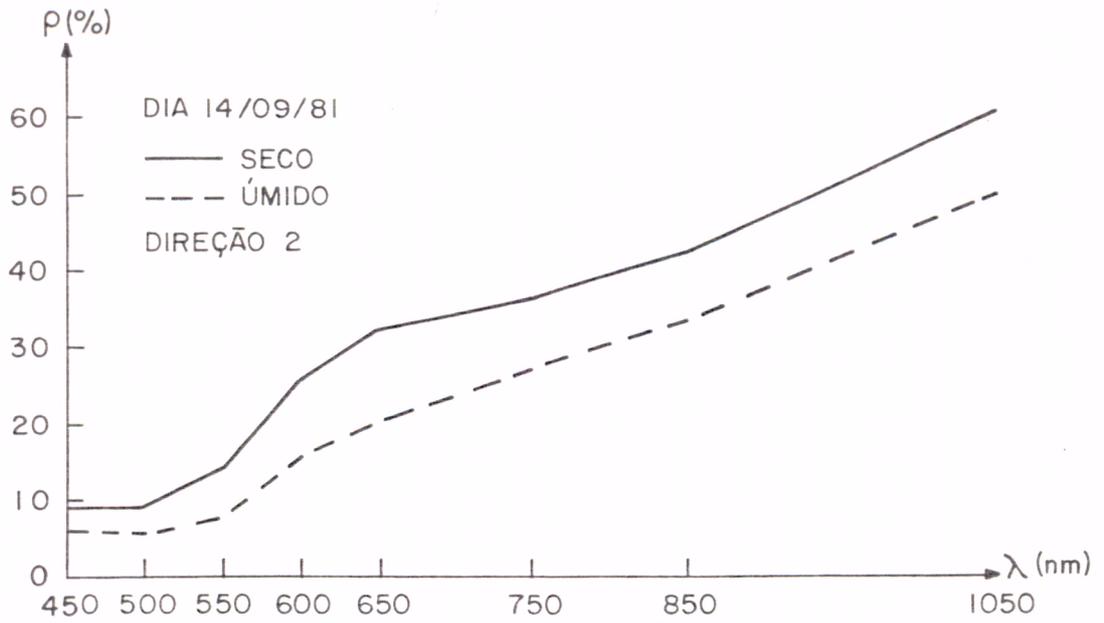


Fig. 3.20 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (14/9/81).

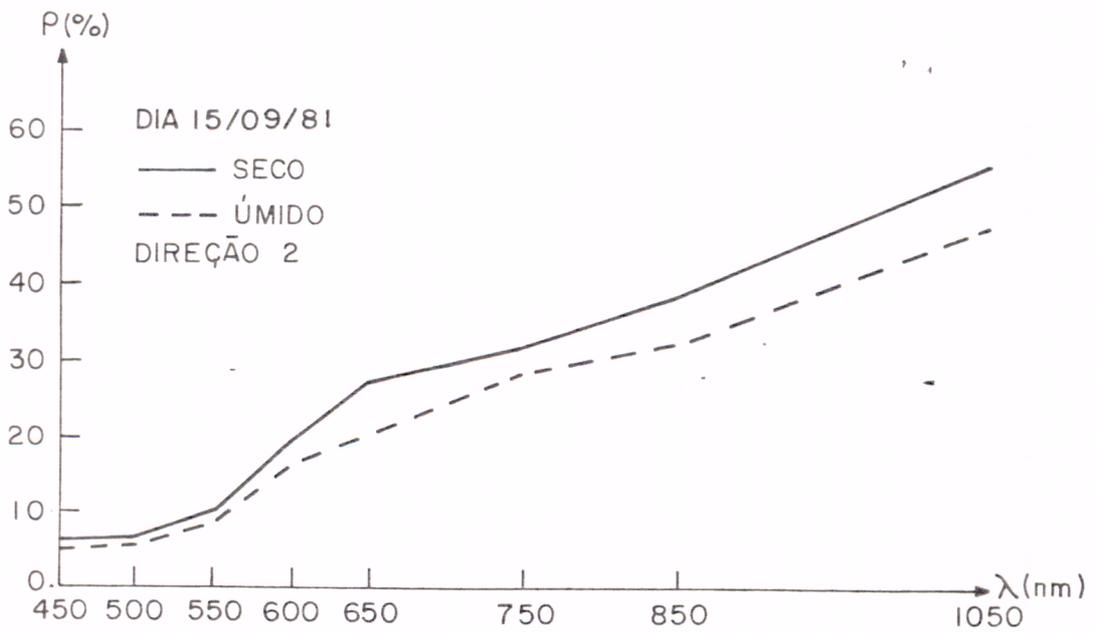


Fig. 3.21 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 2 (15/9/81).

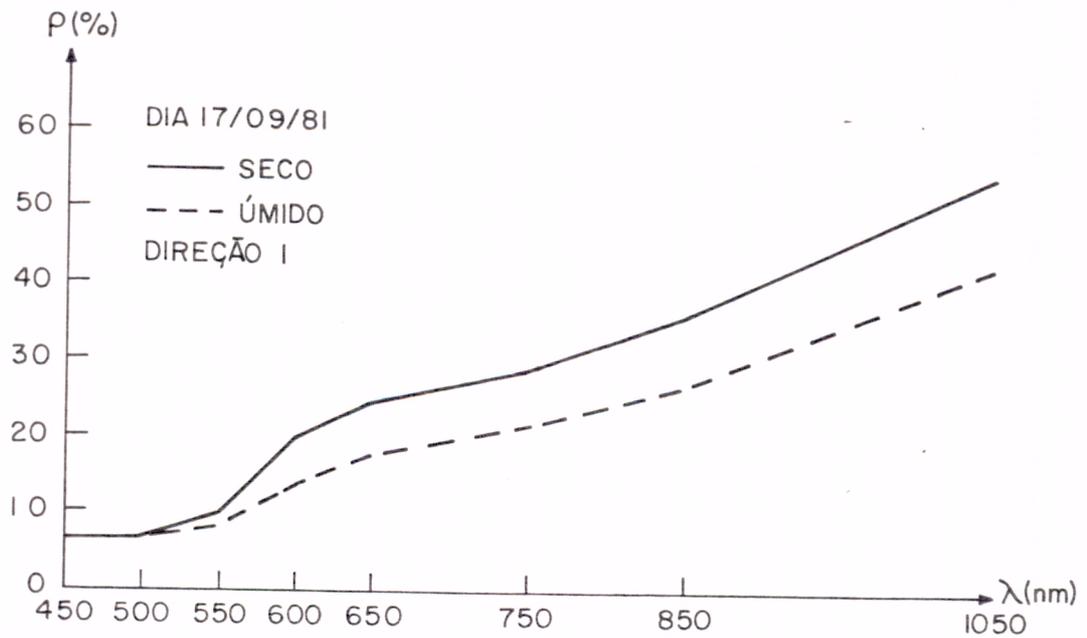


Fig. 3.22 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação I (17/9/81) - Irrigação em 16/9/81.

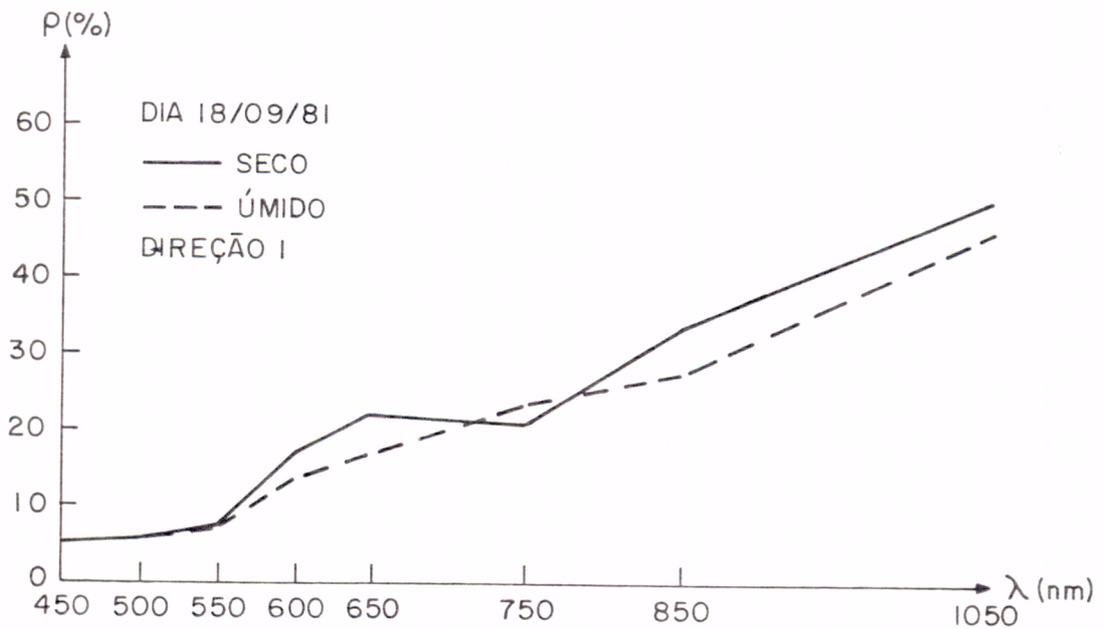


Fig. 3.23 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação I (18/9/81).

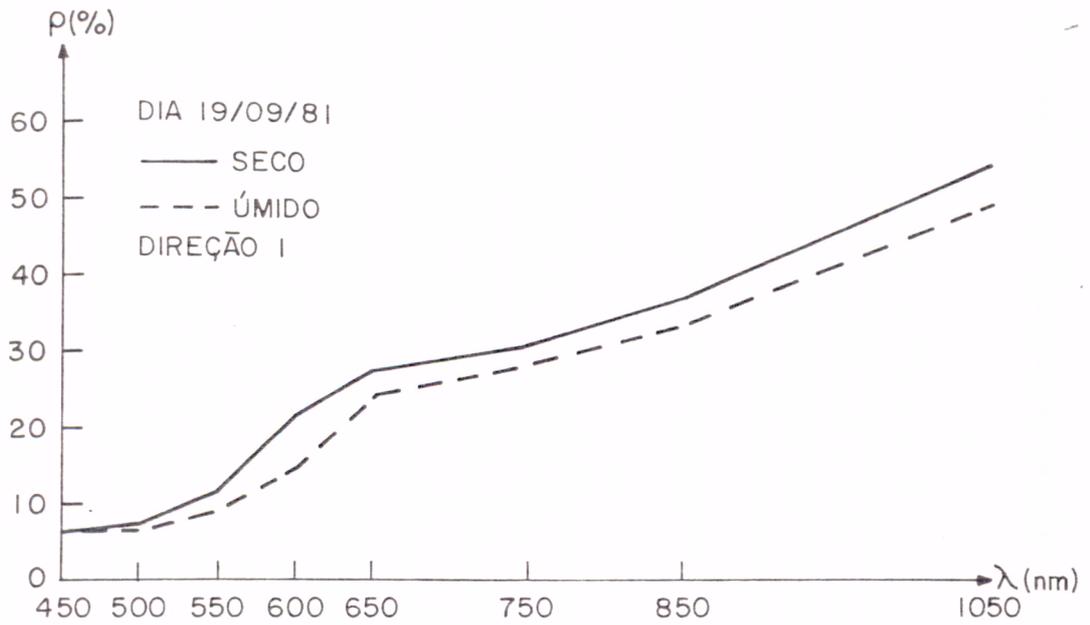


Fig. 3.24 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (19/9/81).

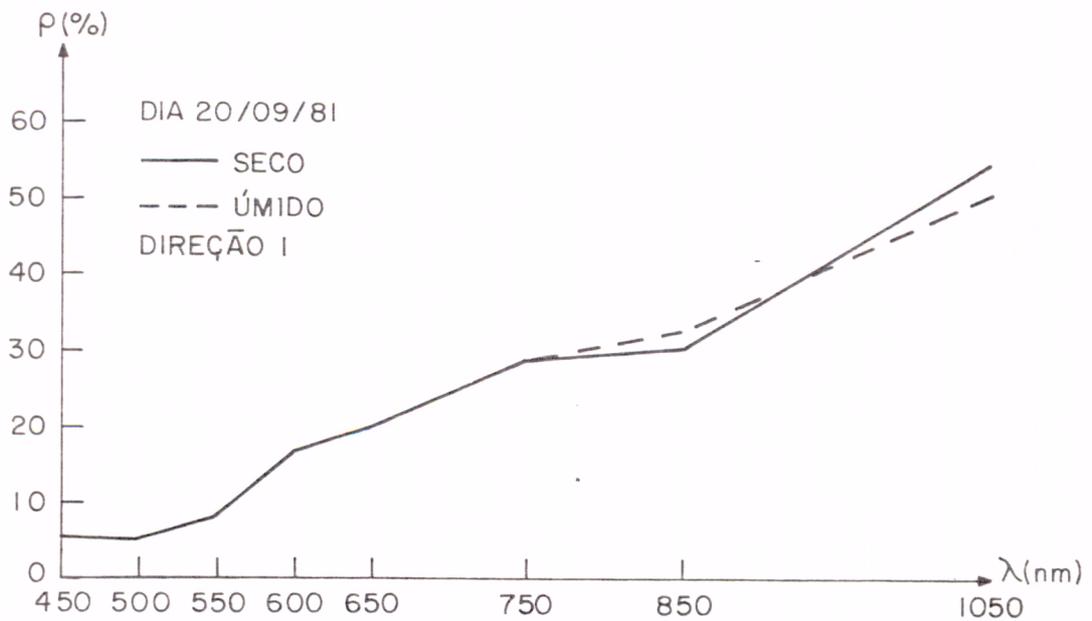


Fig. 3.25 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (20/9/81).

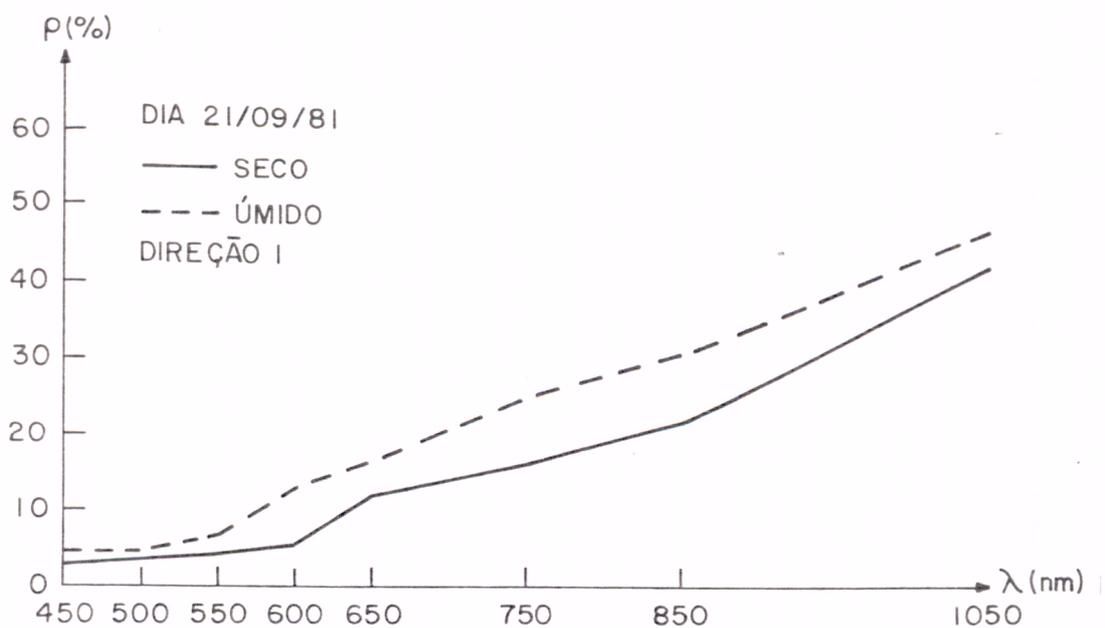


Fig. 3.26 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação I (21/9/81).

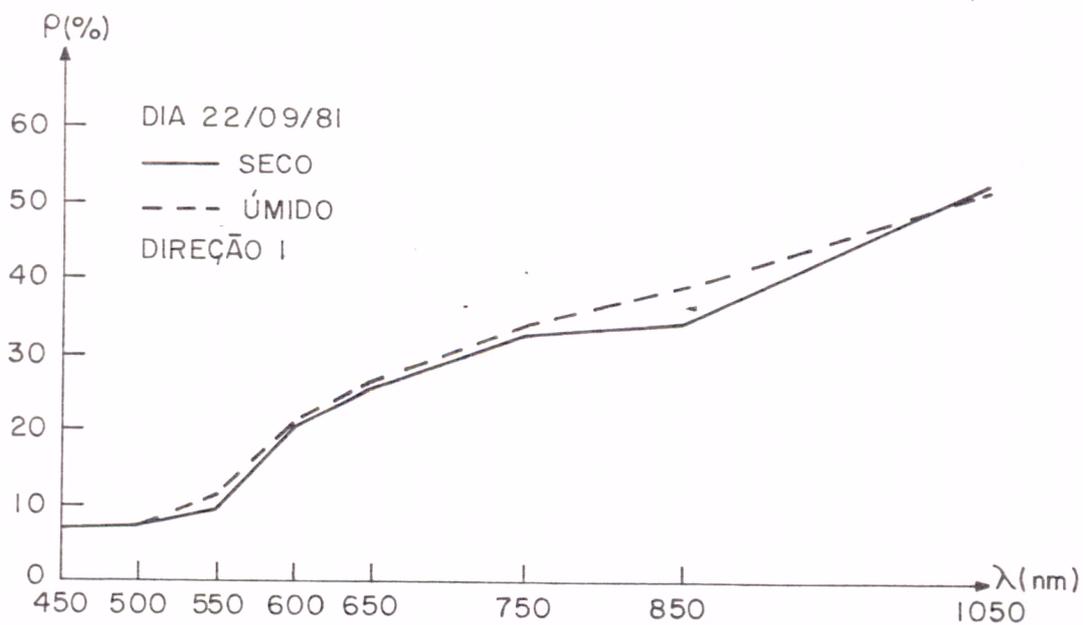


Fig. 3.27 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação I (22/9/81).

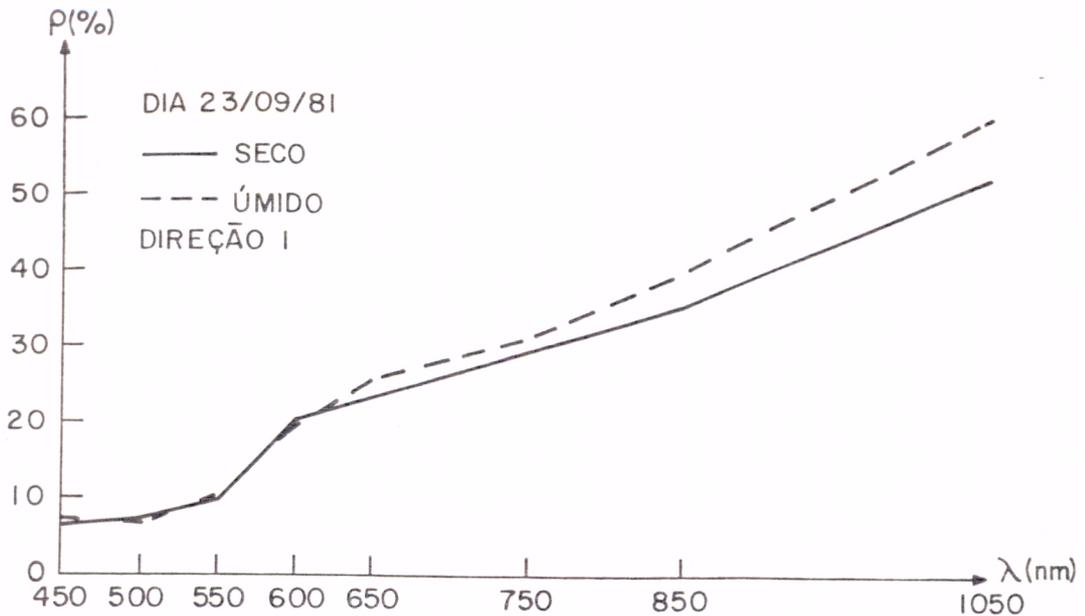


Fig. 3.28 - Comportamento espectral das parcelas seca e úmida segundo a direção de observação 1 (23/09/81).

Ao comparar qualitativamente as Figuras 3.12 a 3.16 com as Figuras 3.17 a 3.21, vê-se uma diferença marcante de comportamento espectral quando a direção de observação varia. No primeiro grupo, correspondente à direção número 1, há inicialmente uma diferenciação entre as parcelas seca e úmida, a qual diminui drasticamente a partir do segundo dia. Já no segundo grupo, que corresponde à direção de observação número 2, a diferenciação de comportamento espectral entre as parcelas seca e úmida é nítida durante todo o período de leituras, com tendência a uma menor nitidez à medida que a parcela úmida sofre ressecamento natural. As Figuras 3.22 a 3.28, que foram obtidas segundo a direção de observação número 1, apresentam comportamento espectral temporal semelhante ao das Figuras 3.12 a 3.16.

Essa possibilidade de identificar se uma parcela está úmida ou seca em função do seu comportamento espectral é de grande importância em termos agrícolas. Entretanto, vê-se que a direção de observação e a condição de rugosidade superficial assumem papel destacado na possibilidade de diferenciação da parcela úmida ou seca.

Essas observações permitem que se discuta sobre a contribuição dos vários fatores influenciadores do comportamento espectral dos solos. Essa discussão, embora se prenda apenas aos parâmetros analisados no experimento, pode eventualmente servir para outros parâmetros não analisados aqui. O que se observa é uma ação mais ou menos forte de fatores intrínsecos e extrínsecos ao alvo contribuindo para a expressão do comportamento espectral. No presente experimento o fator intrínseco ao alvo que mais contribui para a diferenciação das duas parcelas é a umidade. Entretanto, há um fator extrínseco que também mostrou ter influência, que é o sombreamento devido à rugosidade. Essas ações de fatores intrínsecos e extrínsecos agindo de maneira diversificada fazem com que seja determinado o comportamento espectral do alvo.

No sensoriamento remoto, onde muitos fatores inerentes e não-inerentes ao alvo estão em ação combinada, agindo com diferentes intensidades, é importante ao pesquisador saber avaliar as ações que estão contribuindo para a avaliação das características de interesse do alvo e quais ações estão contribuindo para dificultar essa avaliação. Assim, no experimento tem-se a ação do sombreamento influenciando tão fortemente que não se pode distinguir a parcela seca da parcela úmida, quando as leituras são feitas segundo a direção de observação número 1, conforme a Tabela 3.1. Por esta Tabela vê-se que em nenhum comprimento de onda a parcela seca pode ser distinguida da parcela úmida ao nível de 0,05 de significância. O que se tem na direção de observação número 1 (azimute 90^0) é a ação do fator extrínseco *sombreamento* mascarando a diferença de reflectância devida ao fator intrínseco *umidade*.

Pela Figura 3.11 vê-se que quando as leituras são realizadas na direção de observação número 2, a influência do fator sombreamento devido à rugosidade é reduzida. Com essa redução da influência de um fator extrínseco, as diferenças devida à umidade podem ser mais bem expressas e, assim, as parcelas seca e úmida podem ser diferenciadas. Isso é evidenciado pelos níveis de significância de 0,05 encontra

dos para todos os comprimentos de onda analisados (Tabela 3.1). Assim, quando se minimiza a ação de um fator extrínseco, pode-se ter a expressão dos fatores intrínsecos ao alvo mais bem caracterizada.

Essa diferenciação de comportamento do mesmo alvo quando algumas de suas características sofrem alterações é de interesse para o pesquisador. Como exemplo, tem-se o problema da umidade diferencial sobre o mesmo solo. Quando se pretende analisar a umidade sob o ponto de vista de simples diferenciação de áreas secas e úmidas, deve o pesquisador estar atento às condições superficiais do terreno já que, como visto, a rugosidade diferenciada poderá mascarar o efeito da umidade quando o ângulo de observação não for o mais adequado.

Do mesmo modo, quando se têm solos de cores diferentes pode-se incorrer em erros de interpretação se a combinação rugosidade superficial e ângulo de observação não for levada em consideração. O que acontece é que se dois solos - um de cor mais escura (menor reflectância), cuja superfície tenha pouca rugosidade; e outro de cor mais clara (maior reflectância), porém com rugosidade maior (p. ex. tiver sido arado) - forem observados segundo uma direção perpendicular aos raios solares (azimute 90^0), o pesquisador poderá ter inversão de comportamento espectral. O solo que tem sua superfície rugosa terá sua reflectância diminuída em função do sombreamento, o que poderá levar a erros na interpretação sobre as características do alvo.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES

Embora o presente trabalho não pretenda ser exaustivo dentro da área de interação entre energia eletromagnética e características do solo, foi possível a visualização da importância dos parâmetros estudados, bem como de alguns cuidados a serem observados quando se fizer radiometria de campo.

Observadas as condições de realização do experimento, o que se constata inicialmente é a diminuição da reflectância quando a parcela é umedecida. Também observa-se que o processo de umedecimento causa alteração nas condições de rugosidade superficial do solo, o que faz com que a parcela úmida tenha superfície menos rugosa que a parcela seca. O experimento mostrou que o relacionamento entre reflectância e esses dois parâmetros (umidade e rugosidade) é extremamente afetado pela direção de observação durante a realização das leituras.

A incidência da radiação solar provoca sombreamento que é função da rugosidade superficial. Entretanto a contribuição desse sombreamento para o valor da radiância do alvo é função do ângulo de observação (ou ângulo azimutal). Quanto mais o ângulo azimutal estiver próximo de 0° , menor será a participação da área sombreada para a radiância do alvo. Quanto mais o ângulo azimutal se aproximar de 90° , mais área sombreada fará parte do campo de visada do instrumento e menor será a radiância do alvo.

No experimento, onde a parcela seca possuía superfície mais rugosa, a análise estatística mostrou que há significativa diferença entre as direções de observação 1 e 2. Já na parcela úmida, de menor rugosidade superficial, não se detectou diferença significativa entre as direções de observação 1 e 2.

Quando se tentou diferenciar a parcela seca da parcela úmida, observou-se que a interação entre ângulo azimutal e rugosidade superficial desempenhava papel fundamental. Assim, embora a umidade conduzisse a uma menor reflectância, o que era detectado pelas leituras na direção 2, o efeito sombreamento devido à rugosidade causava uma diminuição na reflectância da parcela seca que era suficiente para não permitir a diferenciação entre as duas parcelas quando se faziam as leituras segundo a direção número 1 (90°).

Essas observações levam à conclusão final de que é importante ao pesquisador ter em mente as interações entre as condições de incidência da energia sobre o alvo, as condições ou características do alvo, e as condições de detecção dessa energia. Isso é realçado pelos resultados do presente experimento onde, por exemplo, apenas em decorrência da variação de 90° do ângulo de observação já não se tornou mais possível diferenciar uma parcela seca de uma úmida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflection of radiant energy from soils. *Soil Science*, 100(2):130-138, 1965.
- CIPRA, J.E.; BAUMGARDNER, M.F.; STONER, E.R.; McDONALD, R.B. Measuring radiance characteristics of soil with a field spectroradiometer. *Soil Science Society of America Proceedings*, 35(s.f.):1014-1017, 1971.
- CIPRA, J.E.; FRANZMEIER, D.P.; BAUER, M.E.; BOYD, R.K. Comparison of multispectral measurements from some non vegetated soils using LANDSAT digital data and a spectroradiometer. *Soil Science Society of America Journal*, 44(1-3):80-84, 1980.
- CONDIT, H.R. The spectral reflectance of American soils. *Photogrammetric Engineering*, 36(s.f.):955-966, 1970.
- COULSON, K.L.; REYNOLDS, D.W. The spectral reflectance of natural surfaces. *Journal of Applied Meteorology*, 10(12):1285-1295, Dec. 1971.
- CROWN, P.H.; PAWLUK, S. Spectral signatures from selected soils in the Edmonton - Vegreville area. IN: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Guelph, Ontario, 1974. *Proceedings*. Ottawa, ON, University of Guelph, 1974, p. 449-462.
- EGBERT, D.D.; ULABY, F.T. Effect of angles on reflectivity. *Photogrammetric Engineering*, 38(6):556-564, 1972.
- EMORI, Y.; YASUDA, Y.; FUKUHARA, M.; HIRATA, K. Trial production portable spectroradiometer. *Proceedings of the Japan Society of Photogrammetry*. Tokio, 1972. p. 19-22.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados*. Brasília, EMBRAPA, 1976.
- _____ *Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados*. Brasília, EMBRAPA, 1977.

- EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. Estudo de umidade do solo através de dados de reflectância. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, 1982. *Anais*. (No prelo).
- HOFFER, R.M.; JOHANNSEN, C.J. Ecological potentials in spectral signature analysis. IN: JOHNSON, P.L., et. *Remote sensing in Ecology*. Athens, GA, University of Georgia, 1969, p. 1-17.
- JANZA, F.J. Interaction mechanisms. IN: REEVES, R.G., ed. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry, 1975, V. 1, p. 75-179.
- KIRCHNER, J.A.; KIMES, D.S.; McMURTREY III, J.E. Variation of directional reflectance factors with structural changes of a developing alfafa canopy. *Applied Optics*, 21(20):3766-3774, Oct. 1982.
- KOLLENKARK, J.C.; DAUGHTRY, C.S.I.; BAUER, M.E.; HOUSLEY, T.L. Effects of cultural practices on agronomic and reflectance characteristics of soybean canopies. *Agronomy Journal*, 74(4):751-758, July/Aug. 1982a.
- KOLLENKARK, J.C.; VANDERBILT, V.C.; DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.E. Influence of solar illumination angle on soybean canopy reflectance. *Applied Optics*, 21(7):1179-1184, April 1982b.
- KRISTOF, S.J.; BAUMGARDNER, M.F.; WEISMILLER, R.A.; DAVIS, S. Application of multispectral reflectance studies of soils: pre-LANDSAT. IN: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, 6., West Lafayette, IN, 1980. *Proceedings*. West Lafayette, Purdue University, LARS, 1980, p. 52-61.
- MONTGOMERY, O.L.; BAUMGARDNER, M.F.; WEISMILLER, R.A. *An investigation of the relationship between spectral reflectance and the chemical, physical and genetic characteristics of soils*. West Lafayette, IN, Purdue University, LARS, 1976. 147 p. (LARS Information Note 082776).
- ORLOV, D.S. Quantitative patterns of light reflection by soils: Influence of particle (aggregate) size on reflectivity. *Soviet Soil Science*. 13(s.f.):1495-1498, 1966.

- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. *Physicochemical, site, and bidirectional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils*. West Lafayette, IN, Purdue University, LARS, 1980. 94 p. (LARS Information Note 111679).
- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F.; BIEHL, L.L.; ROBINSON, B.F. *Atlas of soil reflectance properties*. West Lafayette, IN, Purdue University, Agricultural Experiment Station, 1980. 75 p. (Research Bulletin 962).
- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F.; WEISMILLER, R.A.; BIEHL, L.L.; ROBINSON, B.F. Extension of laboratory-measured soil spectra to field conditions. IN: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, 5., West Lafayette, IN, 1979, p. 253-262.
- VALERIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. *Avaliação das imagens orbitais (LANDSAT-1) como base para levantamento de solos*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, Jun. 1976. 251 p. (INPE-912-TPT/030).
- ZAR, J.H. *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1974. 620 p.