MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CURSO DE MESTRADO EM SENSORIAMENTO REMOTO

INPE-5636-PUD/069

SENSORIAMENTO REMOTO E DESERTIFICAÇÃO: FATORES DETERMINANTES DE SUA DINÂMICA

Submetido por: **RENATA MENDES LUNA**

Monografia referente ao Exame Integrado em Sensoriamento Remoto,
aprovada em 03 de Abril de 1994

INPE
São José dos Campos
1995

RESUMO

A desertificação constitui um dos problemas ambientais de grande preocupação global. Seus efeitos diretos influenciam adversamente a saúde e o bem estar da população, enquanto seus efeitos indiretos têm repercussões econômicas e políticas globais. Informações ecológicas limitadas e meio ambiente complexo e frágil afetam particularmente a difícil questão do uso e manejo dos recursos naturais. Um sistema de levantamento e monitoramento deve ser estabelecido e intensificado de modo a reunir informações dos recursos naturais e da população, permitindo assim realizar o controle da dinâmica da desertificação. O sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas têm-se mostrado bastante úteis para o estudo, controle e monitoramento da degradação ambiental, constituindo métodos eficientes, rápidos e com melhor relação custo/beneficio que os métodos convencionais.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE TABELAS vii

1 INTRODUÇÃO 1

2 DESERTIFICAÇÃO 2

3 SENSORIAMENTO REMOTO E DESERTIFICAÇÃO 5

3.1 - Características espectrais dos alvos 6
3.2 - Sensoriamento remoto a nível de aeronave e orbital 8
3.3 - Resolução espacial, espectral e temporal 13

4 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E DESERTIFICAÇÃO 15

5 SENSORIAMENTO REMOTO E DESERTIFICAÇÃO: FATORES DETERMINANTES DE SUA DINÂMICA 18

6 ESTUDOS REALIZADOS SOBRE O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO 24

6.1 - A nível global 24
6.2 - A nível regional 24

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 31

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 33

LISTA DE TABELAS

Pág.

1.0 - Características espectrais e espaciais dos sensores MSS e TM (LANDSAT) e HRV (SPOT) 10

1.1 - Características espectrais e espaciais do sensor AVHRR-NOAA 12

2.0 - Índices de vegetação 22

1. INTRODUÇÃO

Desertificação é formalmente definida como a degradação das terras em zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, os quais incluem variações climáticas e atividades humanas (UNCED, 1992).

No estudo da desertificação um dos aspectos mais importantes na sua avaliação e monitoramento é a identificação dos fatores que facilitam ou contribuem para a sua dinâmica. Os fatores, também denominados indicadores, mais comumente utilizados no estudo da desertificação de uma dada área são: a geomorfologia, a cobertura e degradação do solo, e os recursos hídricos.

Segundo Vasconcelos Sobrinho (1982), a identificação dos indicadores visa alcançar um conhecimento mais exato e rápido do processo de desertificação, já que permite:

- avaliar a vulnerabilidade da área à desertificação,

- prever o começo da desertificação antes que ela se inicie,

- monitorar o processo nas regiões com tendências à desertificação ou que sofrem tal processo,

- avaliar as conseqüências do processo de desertificação e os programas para combatê-la.

As técnicas de sensoriamento remoto, aliadas ao uso de sistemas de informações geográficas, têm-se mostrado potencialmente úteis na identificação e no monitoramento das mudanças que ocorrem nos recursos naturais (principalmente recursos hídricos e degradação do solo, quando se trata de estudos da desertificação) e nos seus correspondentes impactos ambientais e ecológicos, devido a estas técnicas possibilitarem observações sistemáticas em várias escalas, visão sinótica e integração de diferentes tipos de dados (cartográficos, bibliográficos, imagens de diferentes sensores, dentre outros).

Baseado neste enfoque, este trabalho tem como objetivo principal discutir a utilização do sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na identificação das características ambientais mais fortemente correlacionadas aos

geossistemas das terras áridas, ou seja dos indicadores. Para tanto, serão considerados no seu desenvolvimento alguns tópicos de grande importância, tais como:

- causas da desertificação,

- caracterização dos alvos, baseados em suas características espectrais,

- potencialidades dos produtos e técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas para os estudos sobre desertificação,

- principais aplicações de sensoriamento remoto para o estudo da desertificação.

2. DESERTIFICAÇÃO

Desertificação, formalmente definida como a degradação das terras em zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, deve ser entendida como um fenômeno integrador de processos sócio-econômicos e naturais e/ou processo induzidos, que destroem o equilíbrio do ecossistema em áreas sujeitas a uma aridez edáfica e/ou climática.

Um dos pioneiros no uso do termo desertificação foi o francês Aubréville, em 1949, referindo-se à substituição da floresta tropical, em alguns lugares da África, por savana e cerrado, a floresta era derrubada e queimada com a finalidade de proporcionar terras para cultivo (Williams e Balling Jr., 1994).

As atividades humanas têm sido uma ameaça aos ecossistemas naturais. O aumento da degradação da vegetação, do solo e da água, três elementos essenciais à existência humana pode culminar na perda da produtividade biológica e caso não sejam tomadas as devidas precauções, o quadro pode atingir o seu clímax, o deserto, e tornar-se irreversível.

As mais recentes estimativas indicam que cerca de 200 milhões de pessoas são diretamente afetadas pelos processos de desertificação das terras secas e mais de 700 milhões são menos gravemente afetadas ou estão ameaçadas pelas repercussões indiretas desta degradação (Wiliams e Balling Jr., 1994).

No Brasil a desertificação atinge principalmente as áreas semi-áridas e sub-úmidas secas da região Nordeste, região esta sujeita a secas periódicas e cuja utilização do solo, em sua grande parte, é feita de maneira inadequada (sobrepastoreio, desmatamento, cultivo excessivo, dentre outros).

Em países mais pobres e menos desenvolvidos o processo de desertificação acarreta uma grande pobreza, resultando no aumento da má nutrição e doenças, e na deterioração geral da nação social (UNEP, 1983).

As mudanças induzidas pelo homem nas áreas de terras secas têm uma influência significante no balanço de energia da superfície e atmosfera. Muitas destas mudanças culminam com a transferência para um meio ambiente mais hostil para as plantas, resultando em uma menor resposta da vegetação às chuvas, uma redução na biomassa ou mesmo na tendência à morte de muitas plantas, aumentando os primeiros estágios de uma degradação; caracterizando um processo de desertificação (UNCED, 1977).

As mais visíveis manifestações de desertificação incluem (Williams e Balling Jr., 1994):

- substituição de florestas ou bosques por pradarias secundárias, savanas ou cerrados, quando não constituindo um processo de sucessão,

- acelerada erosão hídrica ou eólica,

- aumento na variabilidade, em termos de temporalidade, do curso dos rios e riachos em áreas secas,

- acúmulo de sais na superfície dos solos das áreas secas,

- declínio na estabilidade estrutural do solo, com tendência a formação de capas endurecidas e impermeáveis na superfície e ao escoamento superficial com uma concomitante redução da capacidade de infiltração do solo e do armazenamento de umidade,

- aumento da salinidade em lagos, alagados e rios de água doce

- redução na diversidade global das espécies e na biomassa plantada nos ecossistemas de terras secas.

Segundo Vasconcelos Sobrinho (1982), no estudo do processo de desertificação de uma região um condicionante fundamental que se deve considerar é o fator clima.

O mesmo autor afirma ainda que o desertólogo deve buscar na observação da vegetação da área a interpretação desejada sobre a possível existência de processos de desertificação na região e sua maior ou menor intensidade. Este parâmetro constitui o reflexo do meio, possibilitando identificar algumas características do solo, tais como profundidade, porosidade, salinidade, alcalinidade, capacidade de retenção de água bem como algumas características da atmosfera envolvente, citando-se entre estas a umidade relativa, a temperatura, a insolação e as correntes aéreas.

Outros importantes parâmetros a ser avaliados como indicadores, quando se trata de estudos sobre desertificação, são a geomorfologia, a degradação do solo e os recursos hídricos da região.

Medidas para minimização e planejamento de ações preventivas da desertificação necessitam, portanto, das informações dos vários processos relacionados à atmosfera e recursos terrestres (Manikiam et al., 1990).

Inseridos neste contexto, muitos são os estudos que discutem e propõem novas tecnologias como instrumentos potenciais para avaliação e monitoramento da desertificação (Smith et al., 1990; Mouat et al., 1993; Galvão, 1994; dentre outros). Entre estas tecnologias o uso do sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas são abordados neste trabalho.

3. SENSORIAMENTO REMOTO E DESERTIFICAÇÃO

O sensoriamento remoto compreende o registro e a medição da energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície da Terra e atmosfera e relaciona-os à natureza e distribuição dos materiais na superfície e às condições atmosféricas (Mather, 1987).

Esta tecnologia tem proporcionado a capacidade de obter informações sobre os recursos naturais terrestres e o meio ambiente, possibilitando o seu inventário e conseqüentemente o seu monitoramento e a tomada de decisões.

O sensoriamento remoto constitui uma ferramenta bastante útil na obtenção de informações de vários recursos naturais em diferentes escalas, podendo ser utilizado na identificação e caracterização dos fatores que permitem avaliar a sua dinâmica e seus correspondentes impactos ambientais e ecológicos (Manikiam et al., 1990).

No estudo do processo de desertificação observações regulares, sistemáticas e periódicas se fazem necessárias. Vários dos sistemas sensores em operação se mostram aptos a proporcionar tais características.

Dentre os indicadores da desertificação aqueles que melhor permitem avaliar o seu processo são, como já citados, a cobertura e degradação do solo, a geomorfologia e os recursos hídricos.

Muitos dos trabalhos que monitoram processos de desertificação utilizando técnicas de sensoriamento remoto baseiam-se no estudo da cobertura do solo (Rozanov e Zoon., 1982; Graetz et al., 1986; Carvalho, 1986; Dregne e Tucker., 1988; Mishra et al., 1994; Galvão, 1994, dentre outros), o qual sintetiza várias das informações necessárias ao diagnóstico do processo.

O monitoramento de regiões de dramática colisão entre os impactos da seca e do homem na cobertura do solo pode criar uma padronização para análise global e continental da desertificação (Csaplovics, 1990).

No Brasil, segundo Carvalho (1986), uma grande lacuna dentro do domínio de aplicações do sensoriamento remoto se faz presente quando se trata da cobertura vegetal de áreas frágeis, e conseqüentemente no estudo da desertificação.

Considerando-se o sensoriamento remoto como uma ferramenta privilegiada para o controle e monitoramento destas áreas, devido a possibilidade de observações sistemáticas e em vários níveis, serão apresentados a seguir algumas características espectrais dos alvos que auxiliam na identificação dos processos de desertificação e nos seus impactos ecológicos e ambientais, bem como as características inerentes a alguns sistemas sensores utilizados em tais estudos.

3.1 CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DOS ALVOS

Quando um fluxo de radiação solar atinge um alvo, três são os fenômenos que podem ocorrer: o fluxo pode ser parcialmente refletido, absorvido ou transmitido.

A parcela refletida do fluxo de radiação total incidente é denominada reflectância. Ao conjunto dos valores das médias da reflectância e radiação das feições da superfície do terreno, com cada valor correspondendo a um comprimento de onda diferente e bem definido, denomina-se assinatura espectral (Slater, 1980). A assinatura espectral consiste em uma medida de laboratório e é utilizada como referência.

Quando, ao invés da reflectância espectral, for usada a radiância espectral inerente da amostra, obtém-se o comportamento espectral do alvo, o qual depende de suas propriedades intrínsecas e de fatores exógenos, tais como efeitos atmosféricos, geometria de iluminação e visada, tipo de sensor e características do fluxo radiante.

Dentre as curvas espectrais apresentadas por alvos padrão, as curvas de assinatura espectral padrão da vegetação, as curvas de solos arenosos e argilosos e as curvas de água turva e água límpida são as que mais auxiliam na análise de imagens e extração de informações sobre os alvos no estudo da desertificação.

Tais alvos, segundo Galvão (1994), estão diretamente associados às áreas em processo de desertificação, nas quais a cobertura vegetal é esparsa, o solo exposto, os corpos e cursos d'água submetidos a vários graus de sedimentação, além das várias formas e intensidade de antropismo.

O comportamento espectral dos solos é influenciado principalmente pela umidade, conteúdo e composição de matéria orgânica, granulometria, conteúdo de óxido de ferro, mineralogia da argila e material de origem (Swain e Davis, 1978.). Na figura 3.1.1 tem-se as curvas espectrais de um solo argiloso e de um solo arenoso. Estas curvas, apesar das variações na reflectância, apresentam uma mesma tendência de aumento da reflectância com o aumento do comprimento de onda dentro dos limites observados na figura.

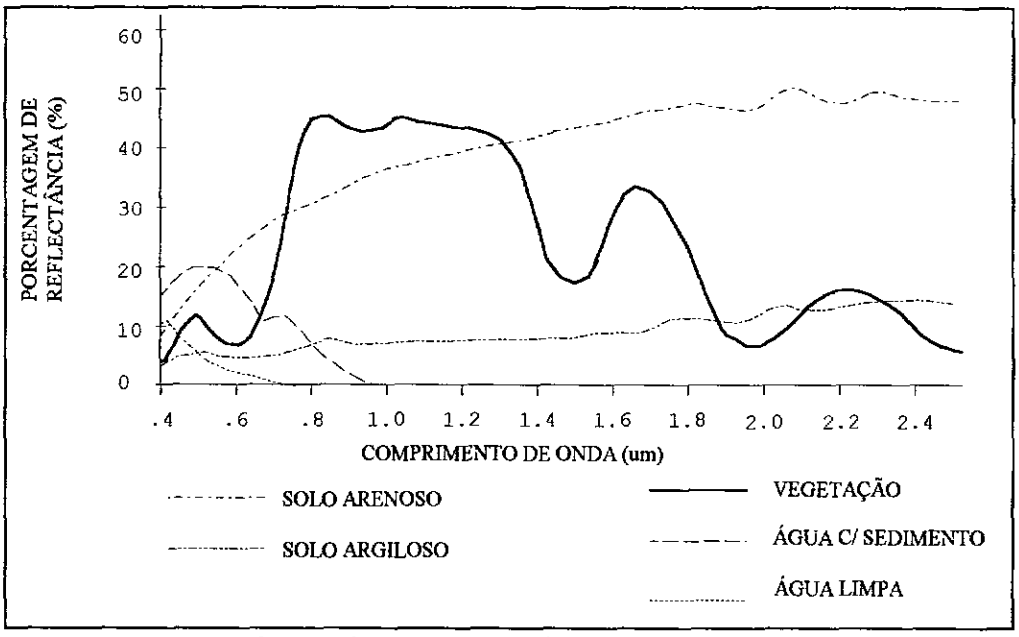

Fig. 1 - Curvas espectrais de alguns alvos.
Adaptada de Santos (1988), p.35.

A característica espectral da curva de reflectância da água mostra uma redução geral na reflectância com o aumento do comprimento de onda, assim, na região do infravermelho próximo (0,7 - 1,3μm) a reflectância da água limpa e profunda é virtualmente zero, contudo, a reflectância espectral da água é afetada pela presença e concentração de material orgânico ou inorgânico dissolvido ou suspenso, e pela profundidade dos corpos d'água.

Segundo Mather (1987), a vegetação apresenta um padrão de reflectância espectral distinto na região do visível (0,4 - 0,7μm) e no infravermelho próximo (0,7 - 1,3μm). A curva de reflectância da vegetação mostra valores relativamente baixos nas regiões do azul (0,4 - 0,5μm) e vermelho (0,6 - 0,7μm), com um pequeno aumento no coeficiente de reflectância na região do verde (0,5 - 0,6μm). Estas características são devido à absorção da luz azul e vermelha pela clorofila e outros pigmentos. Tipicamente de 70 a 90% da luz azul e vermelha é absorvida para proporcionar energia para o processo da fotossíntese. O leve pico de reflectância no verde é a razão pela qual a vegetação aparece verde. A reflectividade aumenta consideravelmente na região de 0,75 μm, permanecendo alta entre 0,75 e 1,35μm, infravermelho próximo. A reflectância espectral da vegetação nesta região é resultado da interação da radiação incidente com a estrutura do mesófilo, um dos tecidos básicos da folha. Fatores externos a folha podem alterar a relação água-ar no mesófilo e, conseqüentemente, alterar a reflectância. Já entre

1,35 e 2,5μm a reflectância é controlada pelo conteúdo de água na planta, causando pontos de mínimo próximos de 1,45 e 1,9μm.

Quando a planta envelhece, a reflectância na região do infravermelho próximo, a princípio, declina, já a região do visível não é afetada significativamente. A medida que continua a envelhecer, o pico na região do verde, no espectro, decresce, outros pigmentos diferentes da clorofila começam a tornar-se dominantes, a folha torna-se amarela ou avermelhada. O estresse causado por fatores ambientais, tais como a seca e a presença ou ausência de minerais no solo, podem também produzir uma resposta espectral semelhante a do envelhecimento (Mather, 1987).

Existem ainda outros fatores que influenciam o comportamento espectral da vegetação e que devem ser considerados no seu estudo, são eles: a geometria do dossel, as suas condições de homogeneidade, a topografia da área e os ângulos de iluminação e visada.

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO A NÍVEL DE AERONAVE E ORBITAL

A fotografia aérea foi a primeira forma de sensoriamento remoto e permanece ainda hoje como um produto bastante usado. O sucesso na análise das fotografias aéreas utilizando a porção visível do espectro eletromagnético, levou ao desenvolvimento de tecnologias capazes de adquirir imagens em outros comprimentos de onda, incluindo o termal e as microondas (Sabins, 1986).

A fotografia aérea pancromática registra comprimentos de onda de 0,3 a 0,9μ m (visível e infravermelho próximo), resultante da interação entre a luz e substâncias químicas sensíveis do filme fotográfico (Sabins, 1986). As imagens fotográficas podem ser descritas em termos de certas propriedades fundamentais, dentre elas: brilho, escala, contraste e resolução.

A partir dos anos 50 os sistemas sensores desenvolvidos durante a segunda guerra continuaram a ser aperfeiçoados. As fotografias aéreas coloridas e infravermelhas passaram a ser amplamente utilizadas em estudos da vegetação. Neste período realizaram-se os primeiros experimentos para avaliar o efeito das doenças e estresses de plantas baseando-se em suas propriedades fotográficas bem como a variação das

condições ecológicas e climáticas locais, foi também neste período que se desenvolveram as primeiras plataformas orbitais.

Os primeiros satélites não tripulados a proporcionar dados sobre os recursos terrestres foram os satélites da série LANDSAT (Sabins, 1986). Desde 1972 a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) lançou seis satélites da série LANDSAT para levantamento de recursos naturais, dentre os quais o sexto, não atingiu os objetivos, pois não chegou ao seu destino.

Os satélites da primeira geração foram os LANDSAT 1, 2 e 3, levando a bordo os sensores *Multispectral Scanner Subsystem* (MSS) e *Return Beam Vidicon* (RBV) , enquanto os satélites da segunda geração foram os LANDSAT 4 e 5, com o sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo e o LANDSAT 6, com o sensor *Enhancedment Thematic Mapper*(ETM).

O sensor MSS proporcionou à comunidade científica uma antecipação das potencialidades dos satélites de sensoriamento remoto. Com o sensor TM, com princípios básicos de funcionamento semelhantes ao do MSS, o escopo de aplicações dos dados do sistema LANDSAT aumentou, devido principalmente à melhor resolução espacial e radiométrica.

Em fevereiro de 1986, foi lançado o satélite *Systeme Probatoire d'Observation de la Terre* (SPOT) com o sensor *High Resolution Visible* (HRV) a bordo. Este sensor trouxe consigo duas melhorias em relação ao sensor TM. A primeira foi em termos de resolução espacial, a segunda foi a possibilidade de visadas fora do nadir, proporcionando o imageamento de um mesmo alvo em sucessivos dias e com diferentes ângulos de visada, possibilitando a formação de pares estereoscópios. Tais sensores, porém, possuem uma resolução espectral mais pobre quando comparados ao sensor TM.

Os satélites de segunda geração da série LANDSAT bem como o satélite SPOT podem ser considerados satélites mapeadores dadas algumas de suas características de resolução espectral e espacial, observadas na tabela 1.

TABELA. 1.0 - CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS E ESPACIAIS DOS SENSORES MSS E TM (LANDSAT) E HRV (SPOT)

SATÉLITE	SISTEMA SENSOR	BANDAS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL (μm)	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	VARREDURA NA SUPERFÍCIE (Km)
L A N D S A T	MSS	4	0,5-0,6	79 x 79	185
		5	0,6-0,7		
		6	0,7-0,8		
		7	0,8-1,1		
	TM	1	0,45-0,52	30 x 30	185
		2	0,52-0,60		
		3	0,63-0,69		
		4	0,76-0,90		
		5	1,55-1,75		
		7	2,08-2,35		
		6	10,4-12,5	120 x 120	
S P O T	HRV	XS1	0,50-0,59	20 x 20	Nadir 60*
		XS2	0,61-0,69		
		XS3	0,79-0,90		Off-nadir 80*
		PAN4	0,51-0,90	10 x 10	

FONTE: Adaptada de Mather (1987), p. 52, 54 e 65.
* largura da faixa imageada pelas duas câmaras é de 117 Km (nadir), descontando-se a superposição de seus campos de visada (3 Km).

Nos estudos das áreas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, e mais especificamente dos processos de desertificação com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e dos sensores acima mencionados, podemos citar os seguintes trabalhos: Helldén (1988) utilizou imagens MSS e TM LANDSAT com a finalidade de desenvolver, testar e aplicar métodos de monitoramento, para o entendimento e predição da desertificação. Csaplovics (1990) utilizou fotografias aéreas e imagens MSS e TM LANDSAT para o monitoramento da dinâmica da desertificação. Lombardo e Carvalho (1979) analisaram a eficiência das imagens LANDSAT para estudos do processo de desertificação (definição e delineamento de áreas), utilizando fotografias aéreas e imagens MSS LANDSAT. Carvalho (1986) utilizou fotografias aéreas para analisar o processo de desertificação nas terras secas do semi-árido brasileiro.

Em abril de 1960, a *National Oceanic and Atmospheric Administration/National Earth Satellite Service* (NOAA/NESS) lançou o TIROS-N, o primeiro satélite operacional com órbita polar, seguido pelos satélites meteorológicos

NOAA 6, 7, 8, 9, 10 e 11; os quais levavam a bordo o sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) com resolução espacial de 1,1 Km. Suas características de resolução geométrica e espectral podem ser observadas na tabela 2.

Os programas LANDSAT e SPOT foram designados particularmente para proporcionar dados dos recursos naturais (geologia, cartografia, floresta, hidrologia, agricultura e monitoramento da vegetação). O programa dos satélites meteorológicos, apesar da pobre resolução espacial, são também de grande importância no sensoriamento dos recursos terrestres devido: a sua cobertura sinótica; a multiespectralidade das imagens, a qual inclui bandas na região do visível e do infravermelho; a capacidade de imageamento contínuo; e as informações paralelas fornecidas nas condições atmosféricas, monitoramento do tempo, conteúdo de umidade da atmosfera, as quais são diretamente usadas em modelos hidrológicos e modelos para predição de safras (Slater, 1980).

As bandas no infravermelho termal, do satélite NOAA são usadas para determinação da temperatura, monitoramento de nuvens e estudo de umidade. A banda do infravermelho médio (3,55 - 3,93μm) é usada para monitorar fogo em floresta e atividades vulcânicas. A banda 2 do AVHRR é espectralmente similar a banda 7 do MSS-LANDSAT e a banda 4 do TM. Devido a sua resolução espectral os dados destas bandas têm sido usados para estudos da vegetação.

TABELA 1.1 - CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS E ESPACIAIS DO SENSOR AVHRR (NOAA)

SATÉLITE	SISTEMA SENSOR	BANDAS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL (μm)	RESOLUÇÃO ESPACIAL (Km)	VARREDURA NA SUPERFÍCIE (Km)
N	A	1	0,58-0,68		
O	V	2	0,725-1,10		
A	H	3	3,55-3,93	1,1 x 1,1	3.000
A	R	4	10,3-11,3		
	R	5	11,5-12,5		

FONTE: Adaptada de Mather (1987), p.70.

Dentre os trabalhos realizados com dados de sensores em satélites meteorológicos para o estudo da desertificação cita-se: Tucker e Justice. (1986)

utilizaram dados NOAA-AVHRR para o monitoramento da extensão de desertos em áreas com precipitação maior que 200-250 mm/ano. Dregne e Tucker. (1988) utilizaram dados AVHRR-NOAA para estimar a biomassa e precipitação no semi-árido. Griffiths e Tekie (1990) usaram dados AVHRR-NOAA, HRV-SPOT e MSS-LANDSAT para avaliação da cobertura vegetal e comparação dos dados obtidos por cada um dos diferentes sensores.

Segundo Shimabukuro et al. (1991), os dados coletados por estes satélites, especialmente o LANDSAT, têm sido bastante usados para estudos de vegetação, principalmente a nível regional. Para o levantamento da cobertura vegetal de grandes regiões, o sensor AVHRR tem se mostrado como fonte opcional de dados, devido a sua característica de cobertura global na tomada de informações da superfície terrestre.

Para o estudo das áreas fisicamente afetadas pelos processos de desertificação, as características do sensoriamento remoto orbital se adequam muito bem (Galvão, 1994). A principal vantagem desta ferramenta é a sua grande área de cobertura, a facilidade de assimilação dos seus dados e a precisão na quantificação (Mishra et al., 1994).

3.3. RESOLUÇÃO ESPACIAL, ESPECTRAL E TEMPORAL

Resolução espacial ou geométrica, mede a menor separação linear ou angular entre dois objetos, isto é, representa a menor distância na qual dois objetos podem ser distinguidos pelo sensor (Slater, 1980).

Para os sistemas fotográficos aéreos a resolução espacial é influenciada pela combinação de vários fatores: espalhamento atmosférico, vibrações e movimentação do avião e pelo poder de resolução, o qual é função dos sistemas de filme e lentes da câmara.

Para os sensores imageadores a resolução espacial está diretamente relacionada com o ângulo de visada do sensor, que por sua vez relaciona-se com o tamanho do detetor e a sua sensibilidade. Em função do detetor define-se resolução espacial como sendo a projeção da área do detetor na cena observada ou *Instantaneous Field of View* (IFOV). O IFOV depende além do tamanho do detetor, da altitude orbital da plataforma e da distância focal do sistema óptico.

Outra importante propriedade dos sistemas sensores é a resolução espectral. As imagens obtidas pelos sensores são multibandas ou multiespectrais. O termo resolução espectral diz respeito à largura destas bandas espectrais. A posição, a largura e o número de bandas indicam o grau em que cada alvo individual (espécies vegetais, tipos de cultura ou rochas) pode ser discriminado numa imagem multiespectral (Mather, 1987). Assim, na utilização de imagens em um dado estudo é de grande importância identificar quais os melhores alvos a serem avaliados e quais os sensores melhor se adequam nesta avaliação.

Em relação à resolução temporal pode-se defini-la como a freqüência com que um sensor pode obter dados de uma mesma região, ou seja, refere-se a repetitividade das informações obtidas de uma dada área.

Os sensores com melhor resolução espacial são o TM e o HRV, a bordo, respectivamente, do satélite LANDSAT, cuja resolução temporal é de 16 dias e do satélite SPOT cuja resolução temporal é de 26 dias quando no nadir. Este satélite possui ainda, a possibilidade de visadas fora do nadir, podendo proporcionar um número de 7 repetitividades quando na região do Equador ou um número maior, à medida em que se aproxima dos pólos, em função da maior repetitividade das órbitas bases adjacentes. Já o sensor AVHRR, a bordo do satélite NOAA, adquire dados diariamente, porém com menor resolução espacial.

Dados AVHRR constituem ferramentas efetivas no monitoramento do desenvolvimento da dinâmica da cobertura do solo e portanto, no monitoramento da desertificação, no entanto, às informações em pequena escala (AVHRR), devem ser adicionadas a investigações em média escala (LANDSAT TM e SPOT) e ainda, o mapeamento em grande escala da ação da seca e do impacto humano em áreas pequenas e homogêneas, resultando em informações mais precisas.

Segundo Csaplovics (1990), quando se trabalha com dados AVHRR, a quantidade de detalhes na investigação da dinâmica da desertificação induz a estudos adicionais, ou seja, a utilização de dados de fotografias aéreas e imagens de melhor resolução espacial, para aumentar a quantidade de informações sobre a cobertura do terreno.

No estudo dos processos de desertificação os aspectos temporais (condições climáticas anuais e sazonais), são também de grande importância, pois eles influem na

qualidade e na quantidade dos dados espectrais disponíveis nas áreas de terras secas. Lombardo e Carvalho (1979) citam que na análise multitemporal das imagens do semi-árido brasileiro, os resultados mostram que as imagens obtidas em condições secas oferecem maiores informações da cobertura vegetal. Já as imagens de épocas úmidas permitem identificar com maior facilidade as áreas sem cobertura vegetal.

Carvalho (1986) confirma esta afirmação e acrescenta ainda que, em condições úmidas (anual e/ou sazonal), tal fato ocorre devido a grande uniformização das respostas espectrais, o que não permite a discriminação das classes temáticas. No entanto tais condições são favoráveis para identificação do solo nu, logo de degradação da vegetação. Já para as condições secas afirma que, primeiramente as de caráter anual e cíclica e em seguida as sazonais, são favoráveis para a discriminação dos grupos estruturais (agrupamentos de classes estruturais segundo as suas afinidades espectrais e separação significativa).

É importante estar consciente de que quando se deseja comparar diferentes imagens com maior rigor, ou seja quando se deseja realizar uma análise multitemporal, as imagens devem ser previamente corrigidas em função do ângulo de inclinação solar e dos efeitos atmosféricos (Haas, 1975 citado por Lombardo e Carvalho, 1979).

Como um processo natural dinâmico a desertificação, segundo Rozanov e Zoon (1982), deve ser verificada e avaliada somente por análises comparativas, para tanto dois métodos substancialmente diferentes podem ser usados: (1) comparação de uma área em diferentes épocas; (2) comparação das condições em duas áreas distintas na mesma época.

Com o primeiro método a presença da desertificação pode ser verificada e seu grau e proporção determinados, se o intervalo de tempo for suficientemente longo para a ocorrência do processo.

Com o segundo método é usado o princípio da análise geográfica comparativa, baseada na hipótese de uma correspondência ou similaridade entre a seqüência geográfica do fenômeno e sua seqüência genética. Neste caso, somente o fato da desertificação pode ser verificado e o grau de sua manifestação determinado em alguma forma relativa, por este método as proporções do processo não podem ser determinadas.

Abordagens multisensor, fazendo uso da combinação advinda de vários sensores, de resolução espacial, temporal e espectral distintas, tem trazido contribuições significativas no estudo da vegetação. Segundo Shimabukuro et al. (1991), o uso de dados dos sensores temáticos (HRV e TM), de melhor resolução espacial, porém menor resolução temporal, é fundamental para o entendimento dos dados AVHRR quando no estudo de caráter regional.

4. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E DESERTIFICAÇÃO

O sensoriamento remoto necessita freqüentemente de outras espécies de suporte de dados para alcançar melhores e maiores níveis de exatidão. Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode proporcionar esta capacidade. Ele permite a integração de um conjunto de dados adquiridos em literatura, cartografia, laboratório e trabalho de campo com dados de sensoriamento remoto (Star e Estes, 1990) ou seja, permite uma conexão lógica entre informações espaciais e não espaciais.

Segundo Burrough (1987), um SIG consiste em um poderoso conjunto de ferramentas para aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais.

As principais características de um SIG são a possibilidade da integração em uma única base de dados das informações espacias provenientes de: dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e MNT (Modelo Numérico de Terreno); a possibilidade de combinação de várias informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados, e a possibilidade de consultar, recuperar, visualizar e desenhar o conteúdo da base de dados geocodificados (Câmara, 1993).

Pode-se dividir a estrutura básica de um SIG em três componentes:

1) entrada de dados: diz respeito a aquisição dos diversos tipos de dados coletados, na forma de mapas, observações de campo e sensores, bem como a sua incorporação na base de dados. Os dados são inseridos e compatibilizados para posterior manipulação,

2) armazenamento e manipulação de dados: refere-se aos caminhos que os dados sobre posição, topologia e atributos de elementos geográficos (pontos, linhas e

áreas representando objetos na superficie da terra) são estruturados e organizados e como o usuário pode gerar novos dados, a partir da sobreposição e cruzamento de dados,

3) apresentação dos dados de saída: diz respeito a representação dos dados produtos do sistema, em formato utilizável pelo usuário. Os dados de saída podem ser gráficos ou tabulares.

Um SIG incorpora basicamente as representações *raster* e *vetorial* (Alves, 1990).

Os dados *raster* descrevem as características do espaço quanto a uma propriedade e , correspondem a divisão da área em uma matriz bidimensional de células, onde a cada uma delas é atribuído um valor.

Na forma *raster*, um ponto é representado por uma célula; uma linha, por células vizinhas arranjadas numa direção; e uma área, por um aglomerado de células.

Já os dados *vetoriais* descrevem objetos na forma de vetores de pontos. Nesta representação o espaço é assumido como contínuo, permitindo assim uma melhor precisão que os dados *raster*.

No formato *vetorial*, qualquer elemento pode ser reduzido a três formas básicas: pontos, linhas e polígonos (áreas). Onde as linhas consistem em um conjunto de pontos conectados ordenadamente e os polígonos podem ser representados segundo sua área, perímetro e forma, e não como uma unidade de área e forma padrão, como no formato *raster*.

Os dados *vetoriais* necessitam menos espaço em disco para armazenamento que o *raster*, e são preferidos devido à possibilidade de melhor representação dos objetos (Congalton e Green, 1992)

Segundo Alves et al. (1988) a existência de diversas formas de representação de um SIG aumenta o potencial de utilização do sistema pois permite a conversão de dados provenientes de fontes distintas e a utilização de métodos de manipulação com a devida representação.

É importante notar que o uso universal dos dados de sensoriamento remoto integrados aos sistemas de informações geográficas constituem uma oportunidade para melhorar e diminuir custos no monitoramento da extensão e intensidade da degradação em áreas secas (Williams e Balling Jr., 1994).

Dentre as aplicações do SIG nos processos de desertificação cita-se, principalmente:

- a produção do Atlas Mundial de Desertificação, onde dados de clima, degradação do solo e vegetação foram combinados e analisados usando-se SIG (UNEP-GRID, 1993);

- desenvolvimento de possíveis modelos a serem usados na avaliação e monitoramento do processo de desertificação, realizado pelo governo do Kênia, em áreas piloto, e pelo governo francês, na África Ocidental (Trabalhos encontrados em "Desertification Revisited"; Odingo, 1990), e posteriormente por outros países, a partir da avaliação de dados sobre clima, relevo, vegetação, número de animais e população humana, selecionados como indicadores e pelo uso de informações estatísticas disponíveis, técnicas de sensoriamento remoto e pesquisa de campo;

- estudo da capacidade potencial da terra como suporte populacional em países em desenvolvimento, com uma base de dados relacionando informações sobre os indicadores (solos, clima, vegetação, população, gado). Tais estudos foram conduzidos em muitos países em desenvolvimento, incluindo Moçambique e Bangladesh (Trabalhos encontrados em "Desertification Revisited"; Odingo, 1990).

Com o desenvolvimento da metodologia para avaliação e monitoramento da desertificação em 1984 pela *Food and Agriculture Organization/Geographic Information System* (FAO/GIS) foi possível através do SIG, compilar os mapas de desertificação de diferentes escalas e níveis de generalização (Rozanov, 1990).

Este autor afirma ainda que já existe uma considerável base de dados acumulada em SIG utilizada para estudos da desertificação, embora ainda insuficiente em termos de exatidão para a cobertura mundial, pois, apesar das aplicações tecnológicas envolvidas em tais estudos, atualmente não existe uma inspeção rotineira detectando os sinais de mudança ambiental, os impactos humanos ou os prejuízos ao meio ambiente.

5. SENSORIAMENTO REMOTO E DESERTIFICAÇÃO: FATORES DETERMINANTES DE SUA DINÂMICA

Nos processos de desertificação, além das atividades humanas, as variações climáticas, a aridez do clima a longo prazo e, enchentes e secas ocasionais de grande intensidade, representam importantes variáveis.

Os processo de degradação de áreas secas não ocorrem todas ao mesmo tempo, no mesmo lugar e sob as mesmas condições, assim sendo, na tentativa de quantificar as causas e conseqüências da desertificação, é de suma importância especificar em qual processo se esta operando, sobre que área e em que intervalo de tempo.

Segundo Williams e Balling (1994), o aumento da degradação em áreas secas se dá principalmente por dois processos, os naturais e a atividade humana, como observado no esquema a seguir.

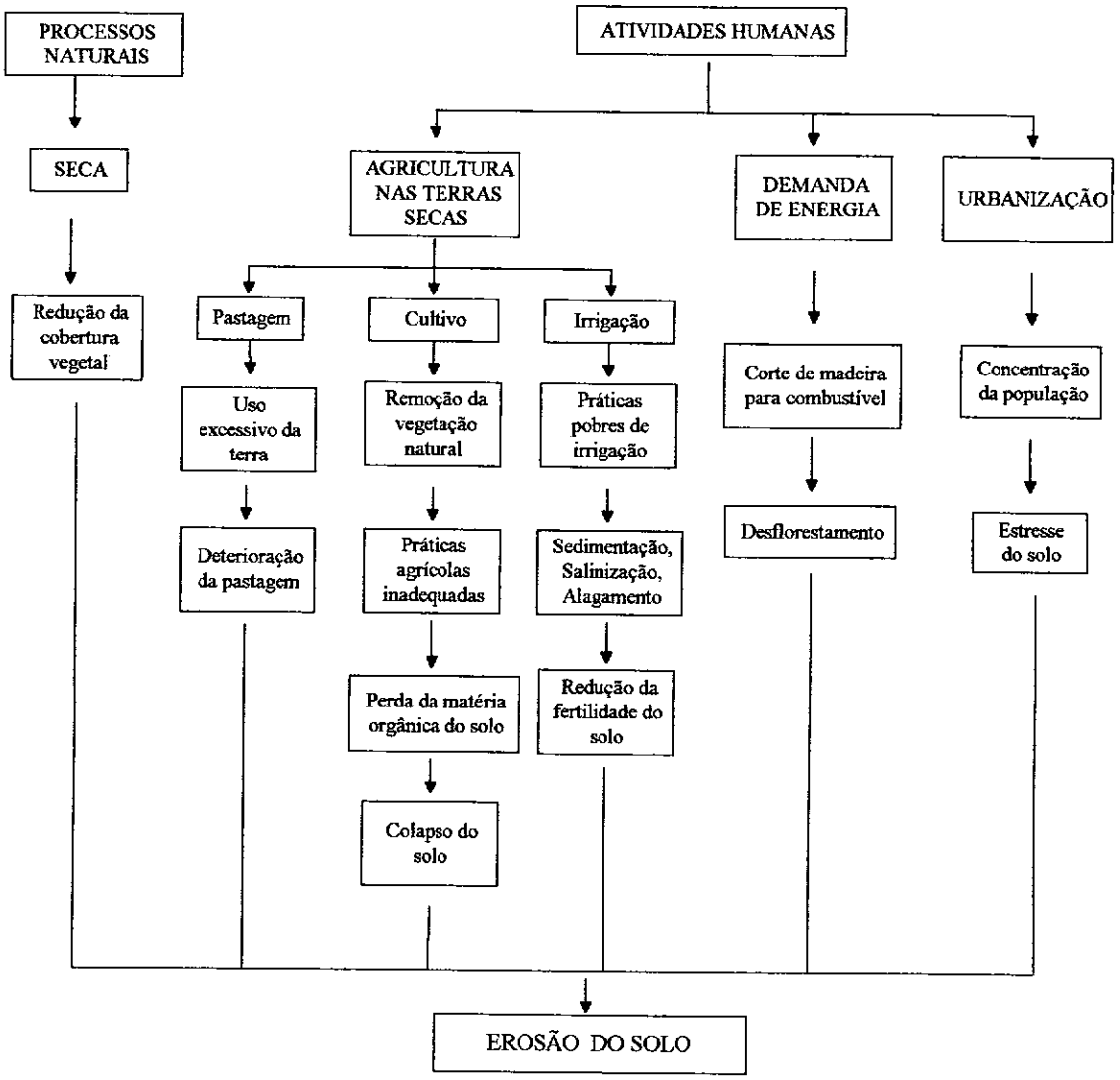

FIG. 2. DEGRADAÇÃO DE AREAS SECAS

Muitas pesquisas sobre os processos de desertificação baseiam-se na medição das características ambientais que estão mais fortemente correlacionadas com os geossistemas das terras áridas, tais características são denominadas indicadores.

Os indicadores podem ser agrupados em três categorias: física, biológica e social (Mouat et al., 1993). Os indicadores físicos incluem a erosão do solo, salinização, nível do lençol freático, quantidade de matéria orgânica do solo, presença ou ausência de camadas endurecidas e impermeáveis na superfície do solo, número e duração de tempestades de poeira e areia. Os indicadores biológicos incluem mudanças nas diversidade estrutural e funcional de organizações biológicas e o empobrecimento de seus múltiplos níveis, especificamente isto inclui a diversidade das espécies, a

produtividade, a cobertura (incluindo índice de área foliar), a absorção da radiação fotossinteticamente ativa, dentre outras mudanças. Os indicadores sócio-econômicos são aqueles que estão relacionados com a população humana das áreas afetadas. Eles incluem mudanças no uso da terra e água (incluindo irrigação, agricultura em terras secas e pastoreio), padrões de povoamento (incluindo diversificação no povoamento e abandono), parâmetros biológicos humanos (tais como índice de saúde) e parâmetros de processo social.

Mouat et al. (1993) concluíram que existe uma alta correlação entre muitos destes indicadores, podendo assim reduzir-se o número de indicadores úteis na avaliação da posição e condição dos ecossistemas áridos.

A hidrologia, a cobertura, a degradação e a superfície do solo são alguns dos indicadores utilizados no estudo das terras secas (Mulders e Girard, 1993) e em estudos com dados de sensoriamento remoto.

• Recursos Hídricos

Nas terras sacas as precipitações são altamente variáveis no tempo e no espaço, levando a uma correspondente variação no escoamento e fluxo das águas e na umidade do solo, o que torna os dados de precipitação, padrões de drenagem e água superficial, adquiridos no estudo da hidrologia da região, importantes fatores característicos do processo de desertificação.

A identificação de água de superfície e mudanças temporais em cursos d'água podem ser realizados com grande acurácia pelos sensores HRV e TM, dos satélites SPOT e LANDSAT, respectivamente, devido as suas características, as quais os caracterizam como sensores mapeadores.

• Cobertura do solo

A cobertura do solo mais facilmente detectável em imagens de satélite é a cobertura vegetal verde, devido às características de alta absorção no visível e alta reflectância no infravermelho próximo, no entanto torna-se difícil quantificá-la nas regiões de terras secas, onde a cobertura vegetal é menor que 40% e a dominância da resposta espectral é a do solo e rochas.

O aspecto da vegetação varia com a escala de observação, apesar dos alvos no terreno permanecerem invariantes. Para grandes escalas os vários componentes da cena podem ser caracterizados por diferentes espectros de reflectância, ao contrário do que acontece para pequenas escalas.

Para Smith et al. (1990) existem três principais aproximações nas imagens de sensoriamento remoto:

1) o cálculo de índices que podem ser relacionados empiricamente com os parâmetros de interesse. Tais índices baseiam-se na razão entre a radiância espectral na banda do vermelho e na banda does infravermelho próximo, escolhidas por maximizar o contraste entre a vegetação e outros materiais (Richardson e Wiegand, 1977, Huete, 1988). Dentre os mais utilizados cita-se: o Índice de Razão de Vegetação (VRI), o Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI). O VRI, apesar de utilizar as bandas correlacionadas com o índice de área foliar e a densidade da vegetação verde, não considera a influência do solo. O NDVI é freqüentemente usado para realçar a diferença entre a vegetação e o solo, bem como para estimar a cobertura vegetal. O SAVI é usado para corrigir as propriedades espectrais do solo em regiões de vegetação esparsa.

TABELA 2.0 - ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Índice de vegetação	Cálculo
VRI	NIR/R
NDVI	(NIR-R)/(NIR+R)
SAVI	[(NIR-R)/(NIR+R+L)]*L

Onde NIR, refere-se a região do infravermelho próximo, R, à região do vermelho e L é um ajuste derivado da transferência de (NIR-R) para o plano de origem, em um ponto aproximado de convergência de isolinha da vegetação.

2) mapeamento temático ou classificação da imagem por métodos estatísticos supervisionados ou não supervisionados. No método supervisionado o usuário identifica alguns dos pixels na imagem como pertencentes a certas classes desejadas e o computador se encarrega de localizar os demais pixels pertencentes àquelas classes. No não supervisionado, o computador decide quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma (Moik, 1980), objetivando, assim, obter uma conexão entre a imagem espectral e os componentes da cena.

3) análise espectral de mistura, que transforma dados de radiância em frações de uns poucos elementos espectrais dominantes, relacionados aos componentes da cena. A análise de mistura separa as contribuições espectrais de elementos intrínsecos da cena, da sombra e outros efeitos de iluminação (Smith et al., 1990). Tais aproximações são especialmente úteis na medida da cobertura vegetal, especialmente em zonas onde ela aparece espaçada. Smith et al. (1990), cita ainda que, segundo alguns autores (Huete et al., 1985; Heilman e Boyd, 1986; Tucker e Miller, 1977), em áreas de cobertura vegetal esparsa, como no caso de áreas secas, o índice de vegetação e as técnicas de classificação não têm se mostrado muito eficazes quando usados sensores de alta resolução espacial, devido a radiância armazenada em cada pixel ser uma mistura de solo e vegetação, resultando em um número infinito de classes ou a sua sobreposição.

• Degradação do solo

A degradação dos solos em terras secas refere-se à redução da produtividade biológica do ecossistema, incluindo a extensão das terras de pastagem e das terras cultivadas, por processos naturais ou por irrigação, como um resultado da aceleração de certos processos fisicos, químicos e hidrológicos naturais. Os processos incluem erosão e deposição do solo, provocada pelo vento ou água; redução da diversidade e quantidade da vegetação natural, e declínio na capacidade do solo para transmitir ou armazenar água para o crescimento das plantas (Williams e Balling Jr., 1994).

As condições da cobertura vegetal são um dos aspectos mais importantes no estudo da degradação do solo. Mudanças na vegetação em terras secas têm um efeito imediato de mudanças também na rugosidade da superfície. Em alguns casos, onde clareiras são abertas, uma superfície é exposta e a rugosidade decresce. Em tais situações a velocidade do vento próximo ao nível da superfície aumenta a evaporação, podendo também aumentar a erosão. Em outras situações a rugosidade aumenta pela remoção diferencial de plantas. Enquanto a velocidade do vento pode diminuir, a superfície rugosa pode aumentar a turbulência nas camadas limites, as quais têm também o efeito de aumentar as proporções da evaporação.

Dados de satélite podem fornecer meios para cálculos de redução da biomassa (Dregne, 1988; Tucker e Justice, 1986; Griffiths e Tekie, 1990), áreas atingidas pelo fogo, ou mesmo para detectar áreas de solo compactado (áreas de vegetação escassa) com a informação auxiliar de bandas termais. As propriedades da superfície (relevo,

estrutura, etc.) devem sempre ser consideradas quando se usam dados de sensoriamento remoto.

• Geomorfologia

Apesar das tentativas de não se considerar a vegetação quando se estuda os solos em zonas áridas e semi-áridas, ela é considerada uma parte da cobertura do solo, uma propriedade fisiográfica que auxilia na identificação dos principais tipos de solo (Mulders e Girard, 1993).

Relevo, padrões e densidade de drenagem são itens importantes para a produção de mapas de solos e podem ser estudados em imagens de satélites adquiridas com baixa altitude solar, em imagens de radar, usando-se a sombra e características de contraste e em imagens derivadas do uso de técnicas de sensoriamento remoto que possibilitem estereoscopia.

• Fatores antrópicos

A sociedade humana de uma região, sua prosperidade econômica, suas condições sanitárias, seu nível cultural e principalmente seus fluxos migratórios podem oferecer, se sabiamente interpretados, preciosos indicadores sobre processos de degradação e desertificação de uma área ou região (Vasconcelos Sobrinho, 1982).

6. ESTUDOS REALIZADOS SOBRE O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

6.1. A NÍVEL GLOBAL:

As primeiras tentativas para avaliar quantitativamente os fatores determinantes do processo de desertificação, bem como mostrar as áreas afetadas em um mapa global, foram empreendidas em 1976-1977, por solicitação do secretariado da *United Nations Conference on Desertification* (UNCOD). Para tanto, dentro de um ano vários mapas foram produzidos para apresentação nesta conferência (Rozanov, 1990).

Na mesma época a FAO produziu um mapa experimental da desertificação, no norte da África e sudoeste da Ásia, mostrando áreas ameaçadas ou em risco de desertificação, baseados na interpretação de dados do mapa mundial de solo.

Em 1979 começaram vários trabalhos de produção de mapas detalhados a nível nacional e regional, com ênfase na avaliação a nível nacional, e a produção de mapas dos países afetados pela desertificação, para uso imediato, como parte da implementação do Plano de Combate à Desertificação, recomendado pela UNCOD.

A partir daí, metodologias para avaliação do processo de desertificação foram desenvolvidas e foram empreendidos os primeiros estudos pilotos com o uso de dados de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas.

6.2. A NÍVEL REGIONAL:

Segundo Rozanov (1990), a grande maioria dos países afetados pelo processo de desertificação não parecia empreender sérias tentativas para avaliar a posição da desertificação, a nível nacional, de forma compreensível até 1977. No entanto, muitas aproximações metodológicas diferentes vinham sendo desenvolvidas em vários países, visando estudar a magnitude do processo. Dentre estes trabalhos, Rozanov (1990) cita:

1) Em 1957, uma das primeiras tentativas para avaliação global da magnitude da desertificação, foi empreendida pelo professor M. Kansas da Universidade do Cairo, Egito. Foram comparadas as áreas de desertos representadas por mapas de clima, solo e vegetação. Uma área maior, revelada pelo mapa de solos e vegetação, quando comparada ao mapa de clima, foi atribuída aos processos de desertificação induzidos pelo homem;

2) Na Universidade Técnica do Texas, Estados Unidos, o professor H.E. Dregne tentou solucionar o problema metodológico de aproximação do *status* da desertificação. Em sua proposta metodológica, Dregne distinguiu quatro graus de desertificação: fraco, moderado, intenso e muito intenso. Para tanto, foram seguidos os seguintes critérios:

- estado da vegetação - perfeita a boa, satisfatória, ruim, ausente;

- estado do solo - degradação ausente ou desprezível, moderada, forte, muito forte;

- estado da salinização das terras irrigadas - ausente, moderada, forte, muito forte;

- decréscimo da colheita - menos que 10%, entre 10 e 50%, entre 50 e 90%, mais que 90%.

3) Na NASA tentou-se estudar o aumento do deserto usando técnicas de sensoriamento remoto. Extensões espaciais do deserto, na África, ao norte do Equador, em diferentes períodos de tempo, foram comparadas usando-se dados do satélite NOAA. Os dados do satélite tornaram possível a avaliação do problema em termos gerais, sem especificação do processo envolvido. Concluiu-se nesta análise que a extensão do deserto nesta parte do mundo, como revelado por numerosos estudos de campo, era superestimada, embora mudanças nas extensões do deserto para o norte e para o sul tenham sido detectadas e também que tais mudanças estão relacionadas com os ciclos das precipitações atmosféricas.

4) Uma aproximação mais específica foi utilizada pelo professor B.V. Vinogradov, do Instituto de Morfologia Experimental e Ecologia de Animais, União Soviética, no estudo da desertificação em Kalmykia, no qual comparou imagens LANDSAT da mesma área, separadas por intervalos de 10 anos e suplementadas por pesquisas de campo apropriadas.

5) A análise multitemporal de dados também foi a metodologia empregada por Vinogradov, do Instituto de Geografia da Academia de Ciências da União Soviética, também em Kalmykia. O padrão de uso da terra desta área foi comparado quantitativamente durante um intervalo de 10 anos, usando imagens de sensoriamento remoto. Mudanças espaciais no uso da terra foram calculadas. Trabalho de campo apropriado foi organizado para a interpretação dos dados de sensoriamento remoto;

6) Em outro estudo, conduzido pelo Instituto do Solo de Dokuchev, União Soviética, uma metodologia foi desenvolvida para avaliação do grau de salinização de terras irrigadas usando dados de sensoriamento remoto, de aeronaves e satélites de recursos naturais, suplementados por trabalho de campo. O estudo proporcionou observações detalhadas do grau de salinização das terras irrigadas de todas as ex Repúblicas Soviéticas na parte central da Ásia;

7) Na Universidade do Estado de Moscou, uma metodologia foi desenvolvida para avaliação do grau de aridez dos solos do mundo e secundariamente a salinização das terras após um processo de irrigação. Esta metodologia foi baseada na estimativa quantitativa do grau de aridez dos solos a partir do acúmulo secundário de sais solúveis.

Estes dados, juntamente com dados estatísticos de probabilidade de seca foram comparados com um mapa de solos mundial;

8) Outra metodologia para a avaliação da desertificação foi também desenvolvida na Universidade do Estado de Moscou, baseada na avaliação da informação estatística sobre os graus (intenso, moderado e fraco) de degradação do solo pela erosão provocada pela água e vento, e pela salinização das terras com diferentes usos (agricultura natural, irrigada) em diferentes zonas ecológicas. Os resultados globais e regionais foram apresentados na forma de tabelas estatísticas, caracterizando as áreas afetadas;

9) Uma metodologia detalhada e bastante compreensível foi desenvolvida pelo Instituto de Desertos da Academia de Ciências da Turmênia, União Soviética. A metodologia proporcionou o uso de dados de satélites de sensoriamento remoto, fotografias aéreas e também trabalhos de campo, para interpretação das imagens. Como resultado da aplicação desta metodologia foi produzido um mapa de desertificação da região.

10) Uma metodologia comparável para avaliação da desertificação foi desenvolvida pela Universidade de Damascus, pelo professor Barkoudash Y., usando fotografias aéreas da mesma área tomadas em diferentes datas. A comparação das imagens foi suplementada por trabalhos de campo, para melhor interpretação.

Pode-se ainda adicionar a a estes trabalhos de nível nacional, os seguintes:

Mitchell (1978) citado por Michell (1981) - Realizou teste experimental da utilidade das imagens LANDSAT para estudos da desertificação no Sudão. O procedimento consistiu em testar o valor dos mapas de solos, vegetação, uso da terra e hidrologia de uma área, obtidos através de imagens do satélite LANDSAT o qual permitiu a identificação de unidades no terreno que possibilitassem o reconhecimento da estrutura do solo para separação de áreas de pouco valor potencial, daquelas merecedoras de estudos mais detalhados. A dependência da população das atividades de pastoreio e agricultura enfatizou a importância de se avaliar a qualidade da superfície da terra em relação aos dois maiores problemas que se desenvolviam na área, sendo eles a erosão do solo e a ampliação das áreas irrigadas. Ambos os problemas foram relacionados a características na superfície e observados na interpretação das imagens de satélite. As imagens foram comparadas com fotografias aéreas e outros métodos

convencionais. Os resultados foram suficientemente favoráveis ao uso dos dados LANDSAT e métodos de sistemas com base terrestre para o reconhecimento dos recursos de um país e o seu mapeamento;

Mitchell e Howard (1978) citado por Michell (1981) - Usaram imagens LANDSAT como auxílio na identificação de áreas específicas ameaçadas de degradação do solo, na Jordânia. Foram reconhecidos seis principais tipos de degradação do solo: erosão eólica e hídrica, salinização, degradação física, química e biológica. Foram sugeridos métodos para medida da razão na qual estas degradações ocorriam e para o estabelecimento de padrões quantitativos para classificação dos graus de riscos e estado atual de cada localidade. Num primeiro estágio o mapa mundial de degradação do solo foi utilizado para obter uma provisão de mapas derivados da interpretação de imagens LANDSAT (MSS bandas 4, 5 e 7). A partir destes dados dois tipos de mapas foram produzidos, um mostrando as características abióticas do terreno e outro com a cobertura vegetal e o uso da terra. Os resultados obtidos indicaram que, geralmente, o uso da terra pode ser inferido pela análise de tons e padrões da imagem, desde que se possa fazer uma distinção entre pastagens nucleadas e não nucleadas ou sistemas de agricultura irrigada e florestas;

Lombardo e Carvalho (1979) - Em seu trabalho analisaram a eficiência das imagens LANDSAT no auxílio e definição de áreas sujeitas ao processo de desertificação no semi-árido brasileiro. Utilizaram imagens MSS multitemporais anuais e sazonais, em papel e em fita. Em uma primeira etapa foi realizada a interpretação visual das imagens em papel, a qual resultou na produção de mapas de localização da área, morfologia e cobertura vegetal. Complementando o mapa de cobertura vegetal, foi realizada uma análise automática utilizando-se a imagem digital, por meio de método supervisionado. Utilizaram ainda, uma carta topográfica e informações sobre o solo e a geologia da região. Obtiveram como resultado a identificação de 11 unidades geológicas as quais foram classificadas de acordo com seu grau de risco à desertificação;

Carvalho (1986) - Análise qualitativa da dinâmica vegetal de um dos setores problemas do semi-árido brasileiro a partir de fotografias aéreas multitemporais. Neste trabalho foram realizadas três coberturas aerofotográficas diferentes. As fotografias foram interpretadas pelo método clássico. Foram geradas três cartas estruturais as quais foram superpostas a fim de se avaliar a dinâmica da vegetação da região em um período de quase trinta anos. Como resultado foi constatada uma expansão e uma notável

mudança agrária na região, o que pode levá-la ao processo de degradação de suas terras, e a uma improdutividade de 15% das terras devido a ação antrópica e/ou natural;

Tucker e Justice (1986) - Uso de dados de sensoriamento remoto para monitorar extensões espaciais no deserto africano, em áreas que recebem mais que 200-250mm de precipitação por ano, através de uma técnica que define a zona de biomassa de folhas verdes ao redor da sua periferia. Foram utilizados dados multitemporais AVHRR-NOAA. Dados de Índice de Diferença de Vegetação Normalizado, para um período de 12 meses foram usados para classificação preliminar da cobertura da terra em grandes classes: deserto, semi-deserto, pradarias semi-áridas, savana e cerrado e ainda áreas úmidas.

Dalsted (1988) - Demonstrou o valor dos dados LANDSAT no reconhecimento e pesquisa dos recursos naturais para análise da desertificação em zonas áridas e semi-áridas, o valor da aplicação de informações geográficas na sua análise e as várias aplicações dos sistemas de informações geográficas para o gerenciamento das terras e o monitoramento da desertificação. A área de estudo localizou-se a sudoeste da Mauritânia. Foram utilizadas imagens MSS e fotografias aéreas na confecção de um mapa base da região. Imagens LANDSAT juntamente com observações de campo mostraram uma severa degradação do solo e da vegetação. Mapas produzidos com base nestes dados foram comparados utilizando-se um SIG. Como resultado foram elaborados dois mapas para a análise e discussão do monitoramento da desertificação.

Demonstrou-se ainda, por meio deste trabalho, que a avaliação regional dos recursos fisicos de uma área é o primeiro passo lógico para o planejamento e gerenciamento das terras. Os dados de satélite, baseados em pesquisas, proporcionam um rápido e econômico acompanhamento regional ou o reconhecimento, a avaliação dos recursos naturais e o albedo em uma escala relativamente pequena. O uso de todas as pesquisa de reconhecimento pode ser feita com os sistemas de informações geográficas, o qual pode ser direcionado para o planejamento, gerenciamento ou desenvolvimento regional.

Dregne e Tucker (1988) - Utilizaram dados do sensor AVHRR para estimar a produção de biomassa no limite sul do Saara. O valor do limiar do Índice de Diferença de Vegetação Normalizado médio integrado, foi comparado com várias zonas climáticas, bioclimáticas, agroclimáticas, agroecológicas e com mapa de vegetação. O índice limiar das isolinhas concordaram fielmente com a principal zona limite em muitos casos, porém

em outros não. O satélite NOAA foi escolhido por proporcionar uma cobertura sinótica da extensão sub-Saara da África. Foram usados dados AVHRR de 5 anos para se estudar a capacidade fotossintética e a produção total da biomassa herbácea. Combinação dos canais 1 e 2 foram utilizadas para o cálculo do NDVI. O uso de dados diários maximizou a probabilidade de imagens sem cobertura de nuvens e a minimização da interferência atmosférica e dos efeitos do ângulo de visada. Como resultado observou-se que as medidas dos satélites meteorológicos podem ser úteis para complementar observações de campo e proporcionar uma vistoria diária às mudanças da vegetação.

Helldén (1988) - Utilizou imagens MSS e RBV-LANDSAT para desenvolver, testar e aplicar métodos de monitoramento para compreensão e predição da desertificação. Neste trabalho as áreas de campos cultivados foram mapeadas utilizando-se imagens LANDSAT dos anos de 1972 a 1979 e fotografias aéreas. Núcleos de cultivo intensivo foram identificados em fotografias de 1962 e em dados digitais LANDSAT. Dados MSS de 1973 foram registrados com dados de 1979 utilizando-se o método do vizinho mais próximo, com um erro residual menor que meio pixel. Não foi encontrada nenhuma mudança sistemática no perímetro da área estudada neste período. Não foi, portanto, verificada a criação de condições estáveis de deserto em uma longa área, correspondente a um aumento do deserto do Saara, como descrito por muitos autores.

Mishra et al. (1994) - Fizeram uso do sensoriamento remoto como uma ferramenta para o estudo da desertificação, utilizaram dados do satélite LANDSAT, do satélite indiano de sensoriamento remoto (IRS-1A) e dados de campo para estudar fenômenos de degradação ambiental no deserto de Rajasthan, Índia. Foi realizada inicialmente uma interpretação visual das imagens da área. Algumas características foram identificadas e a seguir verificadas em trabalho de campo. Finalmente foi feito um processamento digital das imagens utilizando-se o sistema ERDAS (*Earth Resources Data Analysis System*) para quantificar as mudanças temporais. Uma análise da área demonstrou um alarmante grau de degradação, com uma intensa depauperação dos recursos hídricos e da cobertura vegetal e um conseqüente aumento das áreas salinas e erodidas.

Galvão (1994) - Foram utilizadas imagens TM-LANDSAT, complementadas com dados bibliográficos e de campo, para caracterização geoambiental do município de Gilbués (PI), área em processo de desertificação. Em primeiro lugar foi realizada a fotoleitura e fotoanálise das imagens TM e feita uma classificação temática da área, a

qual foi submetida a avaliação através de trabalho de campo. Elaborou-se um mapa-base final o qual serviu de suporte na fotointerpretação das imagens TM. Na etapa de fotointerpretação foram reavaliadas as informações obtidas anteriormente por fotoanálise. A reavaliação permitiu o melhor delineamento e a caracterização geoambiental dos padrões visualizados. Finalmente gerou-se um mapa temático das feições geoambientais da área. A partir destes dados, medidas de recuperação e contenção do processo de desertificação foram recomendadas.

Ramalho et al. (1994) - Utilizaram técnicas de sensoriamento remoto para identificação da dimensão espacial da ação antrópica na cobertura vegetal do estado do Ceará. Foi utilizada uma composição colorida de imagens TM-LANDSAT abrangendo toda a área de estudo. Realizou-se a interpretação visual das imagens objetivando a confecção de overlays da planimetria e do tema de interesse. A seguir as informações foram geoprocessadas e foi realizada uma classificação da área em unidades geossistêmicas. Como resultado foi obtido um valor de cerca de 73,5% de áreas estaduais alteradas pela ação antrópica contra 26,5% de vegetação natural.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A desertificação é um processo dinâmico, seu diagnóstico e suas proporções devem ser identificadas o mais cedo possível, de modo que as medidas a serem tomadas possibilitem, ainda, reverter o quadro de degradação

As estratégias necessárias a mitigação e a reabilitação de áreas sujeitas à desertificação consistem, fundamentalmente, no comportamento do homem que habita estas áreas, mediante um sábio manejo dos seus recursos naturais.

No combate a desertificação, segundo Vasconcelos Sobrinho (1982), diversos são os métodos utilizados, dentre eles: estabelecimento do destino do uso do solo: 1) áreas para implantação de reservas biológicas e/ou silvicultura, 2) áreas para uso agrícola e pastoril, com a prática de rodízio ou descanso do solo; construção de represas, desde os grandes aos médios e pequenos açudes; aproveitamento integral das águas e uso de minibacias e pequenas reservas de captação, amplamente disseminadas.

A seleção e aplicação de tecnologias para combater a desertificação em diferentes países depende sobretudo da educação e motivação das pessoas, disponibilidade de pessoal preparado, gerenciamento do governo, tamanho das áreas a

recuperar, grau de investimento e tempo dedicado a recuperação de áreas específicas das terras degradadas (Garduño, 1977). Devido as várias e diferentes condições ecológicas, sócio-econômicas e políticas em regiões áridas e semi-áridas, não existe uma estratégia tecnológica universal para combater a desertificação. Cada situação deve ser considerada individualmente e ajustes apropriados devem ser feitos nos programas geral de uso da terra

Através deste trabalho pode-se constatar que a capacidade dos satélites em proporcionar dados com várias resoluções espectral, espacial e temporal são de grande importância no estudo dos aspectos dinâmicos terra e atmosfera (Manikiam et al., 1990), e portanto no estudo da desertificação.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto integradas aos Sistemas de Informações Geográficas, constituem, assim, importantes ferramentas na identificação e caracterização das áreas sujeitas ao processo de desertificação e dos seus fatores determinantes, o que constitui um primeiro passo para o planejamento de ações preventivas e para a tomada de decisões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, D.S. . In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, 23-25 maio, 1990. **Anais**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1990, v. 1, p. 66-78.

Alves, D.S.; Erthal, G.; Câmara, G.; Felgueiras, C.; Paiva, J.; de OLiveira, E.; Dias, L.V.; Godoy Jr., M.; Abrahão, A. Sistemas de informação geográfica. In: Congresso Nacional de Informática, 21., São Paulo, 1988. **Anais.** São Paulo, 1988, p.915-920.

Burrough, D.E. **Principles of geographical information system of land resources assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1987, 193p.

Câmara, G. Anatomia dos sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: Assad, E.D.; Sano, E.E. **Sistemas de informações geográficas aplicações na agricultura**. Brasília. EMBRAPA, 1993. cap.1, p.15-37.

Carvalho, V.C. **O uso de sensoriamento remoto aéreo para um estudo de caso de desertificação: Quixabá-PE**. São José dos Campos, INPE, jul. 1986, 17p. (INPE-3963-PRE/980)

Congalton, R.G.; Green, K. **The ABC of GIS:** an introduction to geographic information systems. **Journal of Foresty**, 90(11):13-20, Nov. 1992.

Csaplovics, E. Monitoring desertization dynamics in the Canal du Sahel region (Mali) using multi-temporal Landsat TM and MSS data. In: Coulson M.G, ed. **Remote Sensing and Global Change,** Nottingham, Remote Sensing Society, 1990. p. 31-40. Proceedings of the 16th Conference of Remote Sensing Society.

Dregne, H.E.; Tucker, C.J. Green biomass and rainfall in semi-arid sub-Saharan Africa. **Journal of Arid Environments (15)**: 245-242, 1988.

Dasted, K.J. The use of a Landsat-based soil of vegetation survey and graphic information system to evaluate sites for monitoring desertification. **Desertification Control Bulletin, (16)**:20-26. 1988.

Galvão, A.L.C de O. Caracterização geoambiental em região submetida aos processos de desertificação - Gilbués-PI, estudo de caso. **Conferência Nacional e Seminário Latino-americano da Desertificação.** Fortaleza, 7-11 mar, 1994. 81p.

Garduño, M.A. Technology and Desertification. In: Secretariat of the United Nations Conference on Desertification, ed. **Desertification:** its causes and consequences. Nairobi, UNCED, 29 Aug.-9 Sep., 1977. p.63-168.

Glantz, M.; Orlovsly, N. Desertification: a review of the concept. **Desertification Control Bulletin**, (**9**):15-22. Dec., 1983.

Graetz, R.D.; Pech, R.P.; Gentle, M.R.; O'Callaghan, J.F. The application of LANDSAT image data to rangeland assessment and monitoring: the development and demonstration of land image-based resource information system (LIBRIS). **Journal of Arid Environments** (**10**): 53-80, 1986.

Griffiths, G.H.; Tekie, T.G. An evaluation of multi-sensor satellite data for monitoring semi-arid rangeland vegetation in northern Kenya. In: Coulson M.G, ed. **Remote Sensing and Global Change,** Nottingham, Remote Sensing Society, 1990. p. 250-262. Proceedings of the 16th Conference of Remote Sensing Society.

Heilman, J.L.; Boyd, W.E. Soil background effects on the spectral response of a three-component rangeland scene. **Remote Sensing of Environment**, (**19**):127-137, 1986.

Helldén, U. Desertification monitoring. **Desertification Control Bulletin**, (**17**):8-12, 1988.

Huete, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25(3):295-309, 1988.

Huete, A.R.; Jackson,R.D.; Post, D.F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Enviroment**, (**17**):37-53, 1985.

Lombardo, M.A.; Carvalho, V.C. **Análise preliminar das potencialidades das imagens LANDSAT para estudos de desertificação**. São José dos Campos, INPE, ago 1979, 39 p. (INPE-1540-PRE/065)

Manikiam, B.; Jayaraman, V.; Chandrasekhar, M.G. Space based system for study of regional scale changes with special reference to India. In: Coulson M.G, ed. **Remote Sensing and Global Change,** Nottingham, Remote Sensing Society, 1990. p. 84-89. Proceedings of the 16th Conference of Remote Sensing Society.

Mather, P.M. Remote sensing plataforms and sensors. **Computer processing of remotely-sensed images**. Chichester, St. Edmundsbury, 1987. 352p.

Mishra, J.K.; Joshi, M.D.; Devi, R. Technical note: study of desertification process in Aravalli environment using remote sensing techniques. **International Journal of Remote Sensing**, 15(1):87-94, 1994.

Mitchell, C.W. Reconnaissance land resources surveys in arid and semi-arid lands. In: Townshend, J.R.G. **Terrain Analyses and Remote Sensing**. London, .George Allen & Unwin, 1981. p.169-183.

Moik, J.G. **Digital processing of remotely sensed images**. Washington, D.C. NASA, 1980, 330p. (NASA SP-431)

Mouat, D.A.; Lancaster, J.M.; Minor, T.B.; Mussalem, K.E.; Wade, T.G.; Wickhaem, J.D. **Ecological risk assessment case study**. Nevada, Mar., 1993, 40p. Desert Research Institute.

Mulders, M.A.; Girard, M.C. Remote sensing of soils in warm arid and semi-arid lands. **Remote Sensing Reviews**, (7):341-363, 1993.

Odingo, R.S., ed. Desertification revisited. UNEP-DC/PAC. Nairobi, Feb., 1990. 353p.

Ramalho, M.L.M.; Sampaio, M.A.B.; Almeida, M.A.G. de; Cruz, M.L.B. da; Costa, R.N.S. da; Soares, Z.M.L.; Medeiros, J.S.M.; Souza, M.J.N. Cobertura vegetal e antropismo no estado do Ceará: uma abordagem utilizando imagens TM-LANDSAT. In: **Conferência Nacional e Seminário Latino-americano da Desertificação.** Fortaleza, 7-11 mar., 1994.

Rozanov, B.G.; Zonn,S. The definition, diagnosis adn assessment of desertification in relation to experience in the USSR. **Desertification Control**, (7):13-17. December, 1982.

Rozanov, B.G. Assessment of global desertification: states and methodologies-addendum. UNEP-DC/PAC, Nairobi. **Proceedings of an *Ad Hoc* Consultative Meeting on the Assessment of Desertification**, Nairobi, February, 1990. p.95-124.

Richardson, A.J.; Wiegand, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 43 (12):1541-1552, 1977.

Sabins Jr., F.F. **Remote sensing: principles and interpretation**. 2.ed. New York, W.H. Freeman, 1986. 449p.

Santos, J.R. dos. **Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite LANDSAT**. (Tese de doutorado em Ciência Florestal) - UFPR. Curitiba,, 1988.

Swain, P.H.; Davis, S.M. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York, McGraw-Hill, 1978. 395p.

Shimabukuro, Y.E.; dos Santos, J.R.; Hernandez Filho, P.; Lee, D.C.L. **Avaliação conjuntural da técnica de abordagem multisensor para o monitoramento da vegetação do Brasil**. , São José dos Campos, INPE, ago. 1991. 11 p. (INPE-5328-PRE/1724).

Slater, P.N. **Remote sensing: optics and systems**. Reading, MA, Addison-Wesley, 1980, 575p.

Smith, M.O.; Ustin, S.L.; Adams, J.B.; Gillespie, A.R. Vegetation in deserts: I. a regional measure of abundance from multiespectral images. **Remote Sensing of Environment**, 31(1):1-26, Jan. , 1990.

Star, J.; Estes, J. **Geoghaphic information systems: an introduction**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1990. 303p.

Tucker, C.J.; Miller, L.D. Soil spectra contributions to grass canopy spectral reflectance. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 43(12):721-726, 1977

Tucker, C.J.; Justice, C.O. Satellite remote sensing of desert spatial extent. **Desertification Control Bulletin**, **(13)**:2-5, 1986.

United Nations Environment Programme (UNEP). Ecology and environment: what do we know about desertification **Desertification Control (9)**:3-9, Dec. , 1983.

United Nations Environment Programme/Global Resource Information Database (UNEP/GRID). Decision support: desertification- the big picture. **Global Resource Information Database**, 1993.

United Nations Conference on Desertification (UNCED). **Round-up, Plan of action and resolutions**. New York. 29 August-9 September. 1977. United Nations, 1978. 43p.

United Nations Conference on Desertification (UNCED). Managing fragile ecosystems combating desertification and drought. In: United Nations Conference of Environment e Development. Rio de Janeiro, junho, 1992. **Agenda 21**. Nairobe, UNEP, 1992.

Vasconcelos Sobrinho, J. **Desertificação no nordeste brasileiro**. Pernambuco. Padilla Indústrias Gráficas S.A. 1982. 64p.

Williams, M.A.J.; Balling Jr, R.C. **Interactions of desertification and climate**. Genebra. Apr. 1994. 208p. (Pre-published version).