

**GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DE AREAS DEGRADADAS NO  
NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO EM GILBUÉS, PI**

**FABRICIO BRITO SILVA**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Piauí, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração: Produção Vegetal.

TERESINA  
Estado do Piauí-Brasil  
Março - 2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DE AREAS DEGRADADAS NO  
NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO EM GILBUÉS, PI**

**FABRICIO BRITO SILVA**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Orientador: Prof. Dr. ADEODATO ARI CAVALCANTE SALVIANO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Piauí, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração: Produção Vegetal.

TERESINA  
Estado do Piauí-Brasil  
Março - 2008

Silva, Fabrício Brito

Geotecnologias no mapeamento de áreas degradadas no núcleo de desertificação em Gilbués, PI. / Fabrício Brito Silva – Teresina: EDUFPI, 2008.  
88f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, 2008

1. Desertificação. 2. Áreas Degradadas. 3. MODIS. I. Título.

CDD -

## **Dedico**

Aos meus pais, Maria José de Fátima Brito Silva e Domiciano de Jesus Silva; ao meu irmão Ricardo Brito Silva; ao meu amigo Luigi Lo Mônaco e a Fernanda Tércia Silva Cardoso por acreditarem na minha capacidade e me apoiarem nos momentos em que precisei.

## **Agradecimento Especial**

Ao professor Adeodato Ari Cavalcante Salviano, pela confiança para realização deste trabalho, pelo convívio harmônico durante este período e pela amizade construída.

## **Agradecimentos**

À Deus por sua imensa bondade e sapiência; estando presente mesmo quando eu estive ausente,

A Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade de engrandecimento na minha formação,

Ao Centro de Ciências Agrárias da UFPI, em especial ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, pela viabilização desta pesquisa,

A Prof. Dra. Valdira Vieira Caldas de Brito pela colaboração e confiança na realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Maurício Moreira pelo apoio no caminho em direção ao doutorado.

Ao amigo Danúbio pela colaboração nos momentos difíceis.

Aos professores e funcionários do Curso de Mestrado em Agronomia, pelos ensinamentos e acima de tudo pelo convívio harmônico,

A CAPES e a CODEVASF pelo apoio financeiro.

**A todos, muito obrigado!**

“Aprendi que eu não posso exigir o amor de ninguém, posso apenas dar boas razões para que gostem de mim e ter paciência, para que a vida faça o resto. Aprendi que não importa o quanto certas coisas sejam importantes para mim, tem gente que não dá a mínima e eu jamais conseguirei convencê-las. Aprendi que posso passar anos construindo uma verdade e destruí-la em apenas alguns segundos. Que posso usar meu charme por apenas 15 minutos, depois disso, preciso saber do que estou falando. Eu aprendi... Que posso fazer algo em um minuto e ter que responder por isso o resto da vida. Que por mais que se corte um pão em fatias, esse pão continua tendo duas faces, e o mesmo vale para tudo o que cortamos em nosso caminho. Aprendi... Que vai demorar muito para me transformar na pessoa que quero ser, e devo ter paciência. Mas, aprendi também, que posso ir além dos limites que eu próprio coloquei. Aprendi que preciso escolher entre controlar meus pensamentos ou ser controlado por eles. Que os heróis são pessoas que fazem o que acham que devem fazer naquele momento, independentemente do medo que sentem. Aprendi que perdoar exige muita prática. Que há muita gente que gosta de mim, mas não consegue expressar isso. Aprendi... Que nos momentos mais difíceis a ajuda veio justamente daquela pessoa que eu achava que iria tentar piorar as coisas. Aprendi que posso ficar furioso, tenho direito de me irritar, mas não tenho o direito de ser cruel. Que jamais posso dizer a uma criança que seus sonhos são impossíveis, pois seria uma tragédia para o mundo se eu conseguisse convencê-la disso. Eu aprendi que meu melhor amigo vai me machucar de vez em quando, que eu tenho que me acostumar com isso. Que não é o bastante ser perdoado pelos outros, eu preciso me perdoar primeiro. Aprendi que, não importa o quanto meu coração esteja sofrendo, o mundo não vai parar por causa disso. Eu aprendi... Que as circunstâncias de minha infância são responsáveis pelo que eu sou, mas não pelas escolhas que eu faço quando adulto. Aprendi que numa briga eu preciso escolher de que lado estou, mesmo quando não quero me envolver. Que, quando duas pessoas discutem, não significa que elas se odeiem; e quando duas pessoas não discutem não significa que elas se amem. Aprendi que por mais que eu queira proteger os meus filhos, eles vão se machucar e eu também. Isso faz parte da vida. Aprendi que a minha existência pode mudar para sempre, em poucas horas, por causa de gente que eu nunca vi antes. Aprendi também que diplomas na parede não me fazem mais respeitável ou mais sábio. Aprendi que as palavras de amor perdem o sentido, quando usadas sem critério. E que amigos não são apenas para guardar no fundo do peito, mas para mostrar que são amigos. Aprendi que certas pessoas vão embora da nossa vida de qualquer maneira, mesmo que desejemos retê-las para sempre. Aprendi, afinal, que é difícil traçar uma linha entre ser gentil, não ferir as pessoas, e saber lutar pelas coisas em que acredito”.

**(CHARLES CHAPLIN)**

## SUMÁRIO

	página
<b>RESUMO</b> .....	xii
<b>ABSTRSCT</b> .....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	03
2.1. Áreas Degradadas, Solos Degradados e Desertificação.....	03
2.2. O cerrado piauiense: caracterização, ocupação e uso.....	04
2.3. Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas.....	06
2.4. Sensoriamento Remoto.....	06
2.4.1. Resolução, Número e Posicionamento das Bandas Espectrais.....	07
2.4.2. Resolução Espacial.....	08
2.4.3. Resolução Temporal.....	09
2.4.4 Resolução Radiométrica.....	10
2.4.5. Sistemas Sensores.....	10
2.4.5.1. Sensores TM e ETM +.....	10
2.4.5.2. Sensor MODIS.....	11
2.4.6. Imagens SRTM.....	13
<b>REFERÊNCIAS BLIBLIOGRÁFICAS</b> .....	14
<b>3 CAPÍTULO 1</b> .....	20
3.1 RESUMO.....	20
3.2 ABSTRACT.....	21
3.3 INTRODUÇÃO.....	22
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.5 RESULTADOS.....	27
3.6 DISCUSSÃO.....	33
3.7 CONCLUSÕES.....	35
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	35
<b>ANEXOS</b> .....	41

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Figura 1.** Espectro eletromagnético..... 07

### CAPÍTULO 1

**Figura 1.** Imagem MODIS da região de estudo – NUPERADE..... 23

**Figura 2.** Imagens MODIS da fração solo: (a) período chuvoso, (b) período seco e (c) média entre os períodos seco e chuvoso..... 25

**Figura 3.** Mapa de intensidade de cobertura do solo..... 27

**Figura 3.** Níveis de intensidade de cobertura do solo..... 27

**Figura 4.** Mapa de degradação do solo na região do cerrado piauiense..... 28

**Tabela 1.** Percentual de cada nível de degradação (Nv), área total degradada do município (ATDM) e percentual da área municipal degradada (PADM)..... 29

**Tabela 2.** Formações que concentram maior quantidade de áreas degradadas, C2pi – Formação Piauí, T12s – Formação Sambaíba, K2u – Grupo Urucuia, K1a – Grupo Areado, C1po – Formação Poti..... 30

**Gráfico 1.** Precipitação do período chuvoso..... 31

**Gráfico 2.** Variação do NDVI em cada nível de degradação ao longo do período estudado..... 31

**Gráfico 3.** Variação do NDVI nas classes geológicas que apresentaram maiores quantidades de áreas degradadas ao longo do período estudado..... 32

**Gráfico 4.** Produtividade primária por níveis de degradação..... 33

**Gráfico 5.** Produtividade primária nas classes geológicas mais degradadas..... 33

## **GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DE ÁREAS DEGRADADAS NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO EM GILBUÉS, PI**

Autor: FABRÍCIO BRITO SILVA

Orientador: Prof. Dr. ADEODATO ARI CAVALCANTI SALVIANO

### **RESUMO**

O estudo da degradação do solo tem sido favorecido pelo avanço tecnológico de áreas do conhecimento como sensoriamento remoto e geoprocessamento, no sentido de aumentar a abrangência em área, diminuir o tempo e os custos e aumentar a precisão das análises. O presente trabalho teve como objetivo mapear processos de degradação do solo, por exposição, no Núcleo de Pesquisas de Recuperação de Áreas Degradadas em Gilbués-PI, qualificando de acordo com a intensidade de degradação, formação geológica, precipitação e temperatura. Foram utilizadas imagens do sensor MODIS, abordo do satélite EOS-TERRA, imagens de radar do projeto Shuttle Radar Topographic Mission e imagens ETM+, processadas em um sistema de informações geográficas originando um mapa temático com seis níveis de degradação do solo. O mapa resultante indicou 23,89% da área total como degradada, concentrada na região sudoeste em cinco municípios, Barreiras, Gilbués, Redenção do Gurguéia e São Gonçalo. Dentre esses, Gilbués apresenta maior percentual nos níveis mais severos (48,33%). Essa região é caracterizada por cinco classes geológicas que detêm 70% da degradação e dentre elas o Grupo Areado apresenta-se como núcleo do processo apresentando maior área degradada nos níveis mais severos. Houve intensificação vertical da degradação observada pelos indicadores índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e produtividade primária. As imagens MODIS mostraram-se eficientes na detecção de áreas degradadas pela exposição do solo.

Termos de indexação: desertificação, áreas degradadas, MODIS.

## **GEOTECNOLOGY IN THE MAPPING OF AREAS DEGRADED IN THE NUCLEUS OF DESERTIFICATION IN GILBUÉS, PI**

Author: FABRÍCIO BRITO SILVA

Supervisor: Prof. Dr. ADEODATO ARI CAVALCANTI SALVIANO

### **ABSTRSCT**

The study of soil degradation has been favored by the advanced technology of scientific areas as the remote sensing and the geoprocessing increasing the size of the areas studies, reducing the time and costs and increasing the precision of the analyses. The present work had as objective maps processes of degradation of the soil, for exhibition, in the Nucleus of Researches of Recovery of Areas Degraded in Gilbués-PI, qualifying in agreement with the degradation intensity, geological formation, precipitation and temperature. Images of the sensor were used MODIS, on board of the satellite EOS-EARTH, images of radar of the project Shuttle Radar Topographic Mission and images ETM+, processed in a system of geographical information originating a thematic map with six levels of degradation of the soil. The resulting map indicated 23,89% of the total area as having degraded, concentrated in the Southwest area in five municipal districts, Barrieras, Gilbués, Redenção of Gurguéia and São Gonçalo. Among those, Gilbués introduces larger percentile in the most severe levels (48,33%). That area is characterized by five geological classes that had 70% of the degradation and among them I Group Polished it comes as nucleus of the process presenting larger area degraded in the most severe levels. There was vertical intensification of the degradation observed by the indicators vegetation index by normalized difference (NDVI) and primary productivity. The images MODIS were shown efficient in the detection of areas degraded by the exhibition of the soil.

Index termsdesertification, area degraded, MODIS.

## 1. INTRODUÇÃO

A identificação de áreas em processo de degradação tem sido um tema epistemologicamente polêmico e amplamente discutido mediante o atual contexto de preocupação com os impactos ambientais gerados por ações antrópicas e a intensa produção científica nessa área motivada pela popularização do uso de geotecnologias.

Popularização essa, decorrente da possibilidade de estudo em grandes áreas, monitoramento multi-escala dos fenômenos ambientais dentro de uma visão holística, integrando maior número de parâmetros, diminuindo assim os custos e tempo necessário, além de aumentar a precisão das análises.

Nesse sentido, o cerrado, por ser o segundo maior bioma brasileiro abrangendo mais de dois milhões de quilômetros quadrados, tem sido objeto de vários estudos em monitoramento ambiental, objetivando a compreensão da influência antrópica nos componentes ambientais do ecossistema como um todo e como as conseqüências extrapolam os limites do bioma em termos de mudanças globais.

Apesar desses relevantes avanços, a ausência de estudos multidisciplinares em degradação dos solos, pesquisas de longa duração e a tímida utilização de geotecnologias nesse aspecto específico contribuem para divergências na elaboração de uma metodologia adequada na identificação das origens, indicadores, níveis e modelagem dos processos de degradação ambiental.

Aliado a esses entraves, a fragmentação e isolamento das pesquisas impedem a canalização de resultados em função de um consenso, o que torna a compreensão de ecossistemas como o cerrado, produto da aglutinação de fragmentos de pesquisas.

O reflexo negativo desse cenário são as lacunas abertas em forma de problemas não identificados, inexplorados ou mal discutidos, como a desertificação em Gilbués-PI que abriga um Núcleo de Estudos de Desertificação abrangendo cerca de quinze municípios, e, apesar de ser diagnosticada uma área em processo de desertificação, recebeu poucos estudos no sentido de explicar as origens do processo, quantificar a área afetada, classificar os níveis de degradação e suas ocorrências.

São nessas lacunas que as geotecnologias têm atuado, oferecendo contribuições no sentido de mapear as áreas afetadas por processos de degradação do solo, qualifica-las proporcionando subsídios às políticas públicas responsáveis pela preservação dos recursos naturais, produzir dados oriundos da estratificação dos componentes ambientais e gerar a partir dessas informações, compostas por combinações de estratos, cenários que auxiliem no entendimento da origem do processo, assim como, orientar na construção de uma estratégia de abordagem do problema.

Para tanto, tais geotecnologias contam com instrumentos e técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto capazes de cobrir ecossistemas inteiros, como as imagens de satélite e os sistemas de informações geográficas, permitindo análises espaciais pontuais e poligonais dos componentes ambientais de forma estratificada ou unificada.

É nesse contexto que a presente dissertação possui como objetivo geral identificar, quantificar e qualificar processos de degradação do solo, por exposição, no Núcleo de Estudos de Desertificação com sede em Gilbués-PI e abrangência em 15 municípios, localizados no cerrado piauiense na região Sul do Estado. Para tanto, fez-se o uso de imagens dos satélites EOS-TERRA, LANDSAT e CBERS-2, imagens de radar do projeto SRTM e imagens do programa GoogleEarth.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Áreas Degradadas, Solos Degradados e Desertificação

A definição e caracterização de processos de degradação ambiental têm sido amplamente discutidas pela comunidade científica, variando os conceitos de acordo com o foco da área do conhecimento e a finalidade atribuída ao solo (Dias, 1998). No entanto, no âmbito da pesquisa bibliográfica realizada neste trabalho, não foi encontrado um consenso a respeito da conceitualização desses termos.

No entanto, a diferenciação mais adequada entre área degradada e solo degradado reside na escala de observação, o que pode ocasionar equívocos referentes à atribuição ou não do estado de degradação.

Na maior parte da literatura é encontrado o termo “*land degradation*” podendo ser traduzido como área ou terra degradada, este último no sentido literal. Inicialmente o conceito de “área ou terra” difere do conceito de “solo”. A definição de “área” reconhecida pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) está também presente na Agenda 21 (UNCED, 1993), onde:

*“A terra costuma ser definida como uma entidade física, em termos de sua topografia e sua natureza espacial; uma visão integradora mais ampla também inclui no conceito os recursos naturais; os solos, os minérios, a água e a biota que compõem a terra. Esses componentes estão organizados em ecossistemas que oferecem uma grande variedade de serviços essenciais para a manutenção da integridade dos sistemas que sustentam a vida e a capacidade produtiva do meio ambiente.”*

Já no conceito pedológico “solo” é considerado como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza, onde ocorrem (Embrapa, 1999).

A partir de então, a atribuição do estado de degradação a um “solo” ou “área” deve ser precedida da definição do foco e dos parâmetros a serem considerados. O termo “área degradada” tem sido vinculado a indicadores ecológicos, sociais econômicos e políticos. Já o termo “solo degradado” tem sido vinculado aos indicadores de qualidade do solo, quando este é avaliado para determinado fim específico, sendo tais indicadores parametrizados nas propriedades intrínsecas do solo (físicas, químicas e biológicas). No entanto, tais indicadores não qualificam ou desqualificam o

solo, mas, definem a sustentabilidade econômica e ambiental das práticas de uso e manejo (Doran, 2002).

Ainda resiste a falta de consenso na literatura a respeito da diferenciação entre desertificação e degradação. Os aspectos teóricos e metodológicos têm sido motivo de infindáveis controvérsias, confusões e questionamentos, que impõem restrições decisivas para o convencimento da sociedade e dos governos sobre a importância de destinar recursos para a prevenção, controle e recuperação de áreas em processo de desertificação (Mattalo Júnior, 2001).

Atualmente, a abordagem mais aceita relacionada ao conceito de desertificação foi formulada na Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, onde a desertificação é entendida como "a degradação da terra nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas" (UNCED, 1993).

No entanto, uma análise crítica do conceito de "desertificação" aponta para algumas fragilidades teóricas e/ou metodológicas, tais como: a) amplitude conceitual; b) ausência de métodos de estudo universalmente aceitos; c) ausência de métodos confiáveis para a identificação de processos de desertificação; e d) falta de uma metodologia de avaliação econômica da desertificação (Heitor, 2001).

Apesar de tal polemica conceitual, estima-se que cerca de 23% de toda a terra arável do planeta esteja sendo afetada por processos de degradação. Na década de 90 aproximadamente 910 milhões de hectares foram classificados como "moderadamente degradados", 296 milhões de hectares "fortemente degradados" e 9 milhões de hectares "extremamente degradados" (UNEP 1992, Oldeman et al., 1990).

## **2.2. O cerrado piauiense: caracterização, ocupação e uso**

O estado do Piauí, com uma área de 252.378 km<sup>2</sup>, ocupa 16,20% da região Nordeste e 2,95% do território nacional. É o terceiro maior estado do Nordeste, sendo menor que a Bahia e o Maranhão.

O Piauí possui aproximadamente 11,5 milhões de hectares de Cerrado, tendo como área de domínio cerca de 70% e de transição em torno de 30%, o que o leva a ocupar o quarto lugar do País e o primeiro do Nordeste, apresentando, portanto, grande potencial a ser explorado. Sua área de abrangência ocupa toda a região sudoeste e parte do extremo-sul piauiense, como área de

domínio, além de manchas de transição ao norte e centro-leste do Estado (Fundação CEPRO, 2002).

De acordo com Lima (1987), a região do cerrado, inserida nos Chapadões do Alto-Médio Parnaíba, apresenta-se como sendo “*o conjunto de extensos planaltos ao sul do Piauí, dentro da grande unidade estrutural da bacia sedimentar do Maranhão-Piauí*”.

Em conformidade com EMBRAPA (1999) e Goedert (1987), os solos que apresentam maior expressão geográfica na região do cerrado piauiense são os latossolos vermelho amarelo e os plintossolos. Ocorrem também, em menor percentual, os planossolos e os neossolos quartzarênicos.

Quanto à vegetação da região, em geral é pouco densa, apresentando espécies de porte atrofiado, com troncos tortuosos de engalhamento baixo e retorcido, folhas grandes e grossas, copa assimétrica e ausência de espinhos.

A região em estudo possui, em quase toda sua área, um enorme potencial de águas subterrâneas artesianas, além de ser rica em águas superficiais, sendo banhada, expressivamente, por vários rios perenes, dentre os quais se destacam: Uruçuí Preto, Uruçuí Vermelho, Paraim, Gurguéia e o Parnaíba, onde está localizada a barragem de Boa Esperança, mais precisamente no município de Guadalupe, com 5 bilhões de metros cúbicos de água.

Ainda de acordo com Fundação CEPRO (2002), o clima da região do Cerrado é caracterizado normalmente por uma estação seca que pode perdurar de quatro a cinco meses, ocorrendo chuvas nos meses restantes, com valores pluviométricos anuais médios em torno de 1.100 milímetros. O clima predominante na região é o tropical subúmido quente, inserindo-se também, em menor escala, o tipo tropical semi-árido quente. Já a temperatura média se situa entre 23°C - 24°C.

Nesse sentido, a partir de meados da década de 70 o Cerrado Piauiense começa a despertar o interesse de diversas empresas agropecuárias e investidores individuais de outros Estados para a exploração de pecuária de corte e reflorestamento com caju – destaque para o Rio Grande do Sul, Pernambuco, São Paulo e Mato Grosso – que se instalaram e desenvolveram extensos projetos agropecuários na região, em decorrência das condições edafoclimáticas favoráveis para o plantio de culturas comerciais, pois permite a mecanização dos solos, conta com os insumos básicos, motivados pelas jazidas de calcário e fosfato relativamente abundantes; o crédito rural, disponível por meio dos bancos oficiais (Banco do Brasil e Banco do Nordeste) e dos baixos preços das terras.

Mais recentemente (início da década de 90), os investidores passaram a explorar a agricultura para produção de grãos, arroz de sequeiro de terras altas, milho, e, principalmente, soja, com a obtenção de elevada lucratividade. Apesar dessas vantagens, o Cerrado do Piauí ainda

apresenta uma infra-estrutura de estradas, armazéns e eletrificação rural insuficientes, sendo um obstáculo para o pleno desenvolvimento das atividades agropecuárias.

### **2.3. Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas**

Por definição, geoprocessamento é a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica (Câmara e Davis, 2001).

Em geoprocessamento o universo real é representado por dois grupos de dados espaciais, geo-campos e geo-objetos. Sendo os geo-campos variações espaciais contínuas representantes de dados distribuídos espacialmente e geo-objetos são dados individualizáveis que descrevem objetos do mundo real em termos do seu posicionamento em relação a um sistema de coordenadas, de seus atributos e das relações topológicas existentes (Câmara, 1995).

Nesse sentido, topologia é a estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que podem se estabelecer entre os objetos geográficos (Câmara e Medeiros, 1998).

Os objetos geográficos podem estar associados a várias representações gráficas e seus atributos são armazenados em um banco de dados convencional, que permite ao sistema analisá-los e exibi-los segundo os interesses do usuário.

As ferramentas computacionais utilizadas em geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), são *softwares* especializados para aquisição, edição, armazenamento, integração, análise e saída de dados espacialmente distribuídos (Bailey e Gatrell, 1995).

Além de promoverem a integração entre os geo-objetos e os geo-campos, os SIGs possuem a capacidade de analisar, de forma espacial, uma grande variedade de dados em amplas regiões geográficas, para a extração de novas informações pertinentes à tomada de decisões, permitindo que a ação de cada fator isolado e, em conjunto, seja avaliada rapidamente (Câmara e Medeiros, 1998).

### **2.4. Sensoriamento Remoto**

Sensoriamento remoto é a arte e a ciência de se obter informações acerca de objetos presentes na superfície terrestre sem contato físico com os mesmos (Jensen, 2000). Um sensor remoto é um sistema capaz de detectar, medir e registrar a Radiação Eletromagnética (REM) emitida ou refletida pela superfície terrestre, sendo seu intervalo completo denominado espectro eletromagnético (Figura 1).

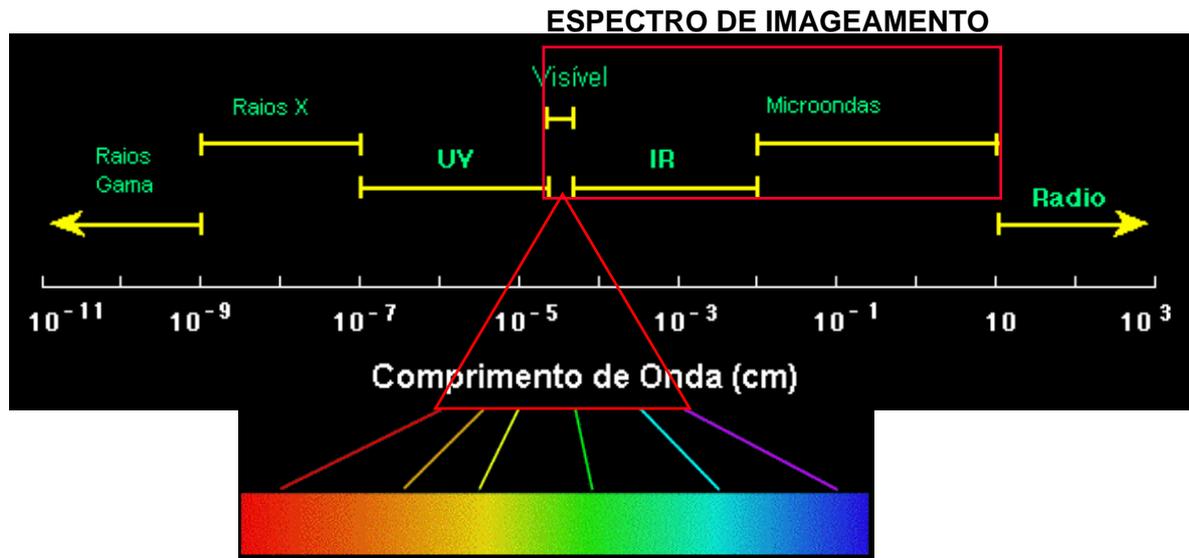


Figura 1. Espectro eletromagnético.

Um sensor remoto óptico é constituído, basicamente, de um coletor que intercepta a radiância vinda do alvo e a direciona para um conjunto de detectores. Estes transformam a radiância em sinal elétrico, cuja intensidade é transformada num valor numérico digital que, em se tratando de sensores orbitais, pode ser armazenado a bordo do satélite, ou transmitido para receptores em Terra (CCRS, 2002).

Os sensores remotos podem registrar a radiância em diferentes intervalos de comprimento de onda do espectro eletromagnético, denominados bandas ou canais espectrais. Contudo, nem todo o espectro eletromagnético pode ser medido por um sensor remoto. Os constituintes atmosféricos (oxigênio, ozônio, vapor d'água, gás carbônico etc.) absorvem parte da radiação solar incidente, que, conseqüentemente, não alcança a superfície da Terra. Entretanto, em alguns intervalos de comprimento de onda, esta absorção é relativamente pequena, sendo denominados *janelas atmosféricas*, ou seja, nesses intervalos a atmosfera é praticamente transparente à REM (CCRS, 2002).

#### 2.4.1. Resolução, Número e Posicionamento das Bandas Espectrais

Os sensores remotos operam em diferentes bandas espectrais simultaneamente, sendo que o número de bandas e a dimensão do intervalo de comprimentos de onda dessas bandas, comumente denominada de *largura da banda*, definem a resolução espectral. A resolução espectral será tanto maior, quanto maior o número e mais estreitas forem as bandas posicionadas numa faixa espectral em que opera o sistema sensor. O posicionamento e a resolução espectral das bandas

são características muito importantes, pois determinarão, em conjunto com as resoluções espacial e radiométrica, a capacidade de um sensor em discriminar ou representar os alvos em uma área imageada (Mather, 1999).

De uma forma geral, os sensores remotos são especificados para atender distintas aplicações, que requerem características próprias quanto ao número, posicionamento e largura espectral das bandas. Assim, os sensores ópticos orbitais geralmente possuem três bandas na porção do visível, uma banda na porção do infravermelho próximo e uma ou duas bandas na porção do infravermelho médio do espectro eletromagnético. Alguns sensores remotos possuem ainda uma banda centrada em comprimentos de onda maiores, correspondentes ao infravermelho termal, para medir a radiância emitida pelos alvos da superfície terrestre. Outros sensores possuem uma banda denominada pancromática, cuja faixa espectral é larga e se estende desde o visível ao infravermelho próximo.

#### **2.4.2. Resolução Espacial**

A resolução espacial está relacionada com à área da superfície terrestre imageada instantaneamente pelo sistema sensor (IFOV; *Instantaneous Field-of-View*), que, após ser reamostrada, é representada por um elemento na imagem digital denominado *pixel*.

A radiância vinda dessa área e detectada pelo sensor em uma determinada banda espectral é posteriormente transformada em nível de cinza do *pixel* da imagem digital. Assim, quanto menor for a área da superfície terrestre individualizada pelo sistema sensor, maior será sua resolução espacial e, conseqüentemente, menor será o objeto possível de ser individualizado. No entanto, é possível distinguir objetos que são consideravelmente menores que a resolução espacial, em função do contraste destes em relação aos adjacentes, embora, muitas vezes, tais objetos só possam ser reconhecidos em função do contexto geral da imagem (Schowengerdt, 1997).

A resolução espacial está intimamente ligada à largura da superfície terrestre imageada (FOV; *Field-of-View*) em cada período orbital do satélite e conseqüentemente, à resolução temporal. Em geral, a largura da faixa de imageamento é dada pelo número de células da barra de detectores presente no sistema sensor versus a resolução espacial. Ou seja, quanto maior a resolução espacial, menor a área da superfície terrestre individualizada por cada detector, para um dado sensor. Conseqüentemente, menor será a largura da faixa imageada em cada passagem do satélite, que levará mais tempo para fazer o recobrimento total da Terra, implicando numa menor resolução temporal. Por outro lado, um sensor que possui uma baixa resolução espacial consegue imagear uma faixa maior da superfície terrestre em cada passagem, resultando em uma

maior resolução temporal (Mather, 1999). Apesar disso, é de se esperar que os novos sistemas sensores a serem desenvolvidos consigam reunir características de alta resolução espacial sem, entretanto, comprometer radicalmente a faixa de imageamento.

Em se tratando de aplicações na agricultura, a resolução espacial ideal depende muito do nível de detalhe que se pretende observar. Em aplicações que envolvam a estimativa da produtividade agrícola através de suas características espectrais, que necessitam do monitoramento constante de dosséis agrícolas de grandes culturas sem a necessidade de informações detalhadas, a resolução espacial mais indicada parece ficar em torno de 500 x 500 m a 1000 x 1000 m (Pax-Lenney e Woodcock, 1997). Resoluções espaciais entre 10 x 10 m e 30 x 30 m são indicadas para estimativa da área plantada em nível de município ou região, onde se busca, basicamente, a identificação e medição dos talhões agrícolas. Estudos que requerem um nível maior de detalhe, como os relacionados à chamada *agricultura de precisão*, que abrangem o monitoramento e controle precoce de injúrias em dosséis agrícolas, envolvendo a observação de detalhes dentro de uma propriedade rural, a resolução espacial indicada deve ficar abaixo de 1 x 1 m (Lamb e Brown, 2001).

### **2.4.3. Resolução Temporal**

A resolução temporal pode ser genericamente definida pelo intervalo de tempo decorrido entre duas passagens consecutivas do satélite sobre um mesmo ponto da superfície terrestre. Em sistemas sensores que fazem o imageamento sistemático da Terra, o conceito de resolução espacial está intimamente relacionado ao tempo necessário para a obtenção de duas imagens de um mesmo local. Entretanto, alguns sistemas sensores possuem a capacidade de adquirir imagens em *visada lateral* para imagear áreas localizadas à esquerda ou à direita em relação à órbita real do satélite. Isto permite aumentar a frequência de observações em uma determinada área de interesse, além de possibilitar a visão estereoscópica.

Porém, o imageamento de uma área localizada fora da visada vertical do sensor compromete o imageamento sistemático de uma área localizada na órbita original. Como consequência, tais sensores não fazem a cobertura sistemática do globo terrestre, pois adquirem imagens em locais pré-determinados por solicitações do usuário final. Outra forma de reduzir o período de obtenção de imagens de um mesmo local é a utilização de um conjunto de satélites com sensores similares e com órbitas intercaladas.

A resolução temporal ideal para o monitoramento agrícola depende principalmente do tipo de estudo que se pretende realizar. Em estudos envolvendo a identificação de culturas agrícolas, a

obtenção de uma ou duas imagens em períodos bem definidos dentro do ciclo da cultura se mostra suficiente, embora pesquisas apontem para uma melhora na identificação de culturas agrícolas utilizando imagens multitemporais (OETTER ET AL., 2000; IPPOLITI-RAMILO ET AL., 2003; RIZZI E RUDORFF, 2003).

Entretanto, as principais culturas de interesse econômico possuem seu ciclo concentrado no período de primavera/verão, muito favorável à cobertura de nuvens. Assim, em estudos envolvendo a estimativa da produtividade agrícola em grandes áreas, onde o monitoramento da vegetação deve ser realizado em intervalos curtos de tempo, a resolução temporal deve ser tal que possibilite a aquisição de pelo menos um mosaico de imagens livres de nuvens a cada 10-15 dias. Para estudos envolvendo agricultura de precisão, onde a obtenção de imagens deve ser feita em períodos pré-definidos do estágio fenológico das culturas, visando à identificação de pragas e doenças, deficiências nutricionais e ervas daninhas, a questão da frequência de obtenção de imagens é ainda mais crítica (COVEY, 1999; CASADY E HARLAN, 2002).

#### **2.4.4 Resolução Radiométrica**

A resolução radiométrica está relacionada à capacidade de um sistema sensor em discriminar pequenas variações na quantidade de radiação refletida ou emitida pelos alvos. Para representar essas variações no formato de uma imagem digital, os diferentes valores do sinal são quantizados em uma escala binária e representados através de uma escala monocromática, onde ao sinal com intensidade zero é atribuído o preto e ao sinal de máxima intensidade é atribuído o branco. Para se expressar a resolução radiométrica emprega-se a expressão  $2^n$ , sendo “n” o nível de quantização da imagem, ou seja, o número de bits utilizado na geração da imagem digital. A maioria das imagens geradas a partir de sensores remotos utiliza uma quantização de 8 bits. Desta forma, a quantidade de níveis de cinza possível de ser representada na imagem é dada por  $2^8$ , ou seja, 256 (Mather, 1999).

#### **2.4.5. Sistemas Sensores**

##### **2.4.5.1. Sensores TM e ETM +**

As imagens adquiridas pelo sensor *Thematic Mapper* – TM a bordo dos satélites Landsat 4 e 5 (*LAND SATellite*) foram sem dúvida as mais utilizadas em pesquisas envolvendo a atividade agrícola. Sua resolução espacial permite a delimitação dos talhões agrícolas de grandes culturas e

outros alvos, como estradas, áreas de floresta, corpos d'água etc. O sensor TM a bordo do satélite Landsat 5, que está em operação desde março de 1984, tem uma resolução radiométrica de 8 bits, possuindo 7 bandas espectrais, sendo 3 na porção do visível, 3 na porção do infravermelho próximo e médio e 1 na porção do infravermelho termal (USGS, 2003).

No intuito de substituir o Landsat 5 foi lançado em 05 de outubro de 1993 o satélite Landsat 6, tendo como carga útil o sensor *Enhanced Thematic Mapper* - ETM. Contudo, esse satélite falhou ao atingir a órbita final e não chegou a operar (NASA, 2004).

Com o lançamento do satélite Landsat 7 em 15 de abril de 1999, entrou em operação o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper plus*), com características semelhantes ao TM, possuindo ainda uma banda pancromática com resolução espacial de 15 x 15 m e alteração da resolução espacial da banda termal de 120 x 120 m para 60 x 60 m, além de um sofisticado sistema de calibração a bordo (LANDSAT, 2003). O ETM+ parou de operar por problemas técnicos em maio de 2003. Entretanto, com o funcionamento simultâneo dos sensores TM e ETM+ entre abril de 1999 e maio de 2003, a resolução temporal do sistema Landsat 5 e 7 passou de 16 para 8 dias, aumentando a possibilidade de obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens.

A grande vantagem oferecida pela utilização das imagens desses sensores é a alta disponibilidade mundial de seus produtos, o que resulta em um considerável acervo de trabalhos técnicos e científicos, que serve de base para comparações e discussões no âmbito da pesquisa e da aplicação. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE é o responsável pela recepção das imagens Landsat, que estão disponíveis ao usuário final cerca de uma semana após a aquisição dos dados pelo sistema sensor e sua transmissão concomitante para a antena localizada em Cuiabá, MT.

#### **2.4.5.2. Sensor MODIS**

O sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) está a bordo dos satélites Terra e Aqua, lançados pela National Aeronautics and Space Administration – NASA em 18 de dezembro de 1999 e 4 de maio de 2002, respectivamente.

Estes satélites fazem parte do projeto *Earth Observing System* (EOS) formado por diversos países, constituindo uma série de plataformas para monitoramento terrestre em várias áreas de conhecimento, em diferentes escalas. O MODIS é um radiômetro de 12 bits de quantização, que possui 36 bandas espectrais, centradas desde a porção do visível ao infravermelho termal, algumas muito interessantes ao monitoramento da atividade agrícola. Este sensor possui resolução espacial de 250 x 250 m nas duas primeiras bandas (vermelho e infravermelho próximo), 500 x

500 m nas bandas 3 a 7 e 1.000 x 1.000 m nas demais 29 bandas. Estas estão posicionadas a partir do comprimento de onda de 0,405 até 14,385 nm, com largura variando entre 10 e 500 nm (MODIS, 2003). Algumas destas bandas estão estrategicamente posicionadas visando, principalmente, fornecer informações para alimentar algoritmos que buscam promover a correção dos efeitos atmosféricos, descritos em Vermote e Vermeulen (1999).

Os dados deste sensor têm características muito apropriadas no que se refere à resolução temporal, pois, em função da larga faixa imageada em cada período orbital do satélite (2.330 km), o MODIS *observa* diariamente praticamente toda a superfície terrestre. Isto permite a geração de imagens livres de cobertura de nuvens por meio da composição de várias imagens obtidas em um período maior (*e.g.* 16 dias). Tanto as imagens diárias, quanto as composições estão disponíveis ao usuário final no *web site* do EOS ([modis.gsfc.nasa.gov](http://modis.gsfc.nasa.gov)) cerca de seis dias após a passagem do satélite ou o término do período, sem qualquer ônus. Além disso, as imagens são disponibilizadas com correções atmosféricas e geométricas previamente realizadas, estando prontamente utilizáveis sem a necessidade de georreferenciamento adicional.

Outra característica particular às imagens do sensor MODIS é que o EOS as disponibiliza sob a forma de produtos direcionados a aplicações específicas, divididas em *Terrestres*, *Oceânicas* e *Atmosféricas*. Em relação às aplicações terrestres, um dos produtos particularmente interessantes ao monitoramento da dinâmica da cobertura vegetal é o MOD13Q1.

Contém composições de imagens de 16 dias sob a forma dos índices de vegetação NDVI e EVI, além da reflectância de superfície correspondente às bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, em uma resolução espacial de 250 m (neste caso, as bandas do azul e infravermelho médio, originalmente obtidas com 500 m de resolução espacial, são reamostradas para 250 m). Para cada ponto da imagem o algoritmo seleciona o pixel de melhor qualidade em relação à geometria de visada e interferência atmosférica dentre todas as passagens do período, que é então utilizado na geração das imagens compostas (Huete et al., 1999).

Os produtos gerados a partir das imagens do sensor MODIS possuem características radiométricas, geométricas, espaciais e de atenuação dos efeitos atmosféricos muito superiores às adquiridas pelo sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA, utilizadas até então em pesquisas objetivando o monitoramento da vegetação em escala regional e estadual (Liue Kogan, 2002; Melo et al., 2003). Os algoritmos de correção atmosférica e de geração das imagens compostas estão atualmente em sua versão 4.0, embora alguns produtos ainda sejam disponibilizados na versão 3.0.

#### 2.4.6. Imagens SRTM

Outra tecnologia relevante no monitoramento ambiental por geotecnologias são os modelos digitais de elevação, com aproximadamente 90 metros de resolução espacial, originários da missão de mapeamento do relevo terrestre *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA e *National Geospatial-Intelligence Agency* – NGA dos Estados Unidos no ano 2000. Os dados obtidos pelo mapeamento foram disponibilizados pelo *United States Geological Survey* – USGS Eros Data Center.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) foram gerados por interferometria de radar. Neste processo, o sinal emitido é recebido por duas antenas separadas por uma distância fixa (60 m), permitindo assim o cálculo da elevação da superfície, com uma acurácia vertical absoluta de 16 m (90% confiança).

Através desses dados brutos e gratuitos liberados pela NASA, tornaram-se possíveis uma série de aplicações úteis principalmente no âmbito do planejamento territorial e do monitoramento ambiental. Dentre as aplicações está o desenvolvimento sustentável da agricultura, os programas de manejo de bacias hidrográficas, a preservação dos recursos florestais, o zoneamento ecológico e econômico, os estudos de conservação de solos para identificar e evitar erosões e até a implantação de eletrificação rural e de estradas (SUN *et al.*, 2003).

As tecnologias acima citadas encontram-se disponíveis para a aquisição e uso imediato da comunidade científica sem nenhum custo, dependendo apenas da habilidade e conhecimento do profissional ou pesquisador.

Isso mostra a dimensão do avanço das geotecnologias e a viabilidade em seu uso, e, é nesse universo que o presente projeto objetiva utiliza-las com o propósito de mapear as áreas degradadas, na meso-região sul do Piauí, quantificando, qualificando e relacionando a vulnerabilidade aos processos de degradação com a geologia, relevo, tipos de solos, cobertura vegetal e variações temporais de elementos climáticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, T. J. A. de; MONTEIRO, M. S. L. Agricultural model and sustainable development: the occupation of Piauí savanna. *Ambient. soc.*, Campinas, v. 8, n. 2, 2005.

BACELLAR, O. I. de B. Causas e tendências do processo migratório piauiense. Teresina: Fundação CEPRO, 1990.

BAILEY, T.C.; GATRELL, A.C. Interactive spatial data analysis. London: Editora Longman, 1995. 413 p.

BIN, A.; SALLES FILHO, S. L. M.; PAULINO, S. R.; RODRIGUES, G. S. Impactos ambientais na agricultura: um método de avaliação de programas tecnológicos. *Rev. Cent. Ciênc. Admin.*, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 76-83, 2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAM. Parte das folhas SC. 23. Rio São Francisco e SC. 24. Aracaju. Levantamentos de recursos naturais. Rio de Janeiro, v.1, 1973.

Bailey, T.C.; Gatrell, A.C. Interactive spatial data analysis. London: Editora Longman, 1995. 413 p.

CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING (CCRS). Remote sensing tutorial. 2002. Disponível em: <[www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/educate.html](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/educate.html)>. Acesso em: 14 jun. 2002.

CÂMARA, G. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. 1995 281 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível na biblioteca digital URib: <[www.dpi.inpe.br/teses/gilberto/](http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto/)>1995.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução ao geoprocessamento In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001(INPE-8568-RE/4312). Disponível na biblioteca digital URLib: <[www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf)>. p Acesso em:31 set. 2007.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. de; Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: Assad, E.D.; Sano, E.E. Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura. Brasília:

EMBRAPA-SPI/EMBRAPA Cerrados, p. 3-11, 2 ed. 1998, 434 p.

CASADY, W.W.; HARLAN, I.P. Precision agriculture: remote sensing and ground truthing. 2002. Disponível em: <[muextension.missouri.edu/explore/](http://muextension.missouri.edu/explore/) Canada Centre for Remote Sensing (CCRS). Remote sensing tutorial. 2002. Disponível em: <[www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/educate.html](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/educate.html)>. Acesso em: 28 nov. 2007.

COSTA, A. S. & SOUZA JR, C. M. Comparação entre imagens landsat etm+ e modis/terra para detecção de incrementos de desmatamento na região do baixo acre. Revista Brasileira de Cartografia, No 57/02, 2005.

COSTA, R. B. (org) Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região centro-oeste. Campo Grande: UCDB, 2003. 246p.

COVEY, R.J. Remote sensing in precision agriculture: an educational paper. 1999. Disponível em: <[www.amesremote.com/contents.htm](http://www.amesremote.com/contents.htm)> Acesso em: 13 ago. 2007.

DIAS, L.E. & GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 3, 1998, Viçosa, MG. Anais... Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.1-7.

DORAN, J., Soil health and global sustainability: translating science into practice Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 88, Issue 2, February 2002, Pages 119-127 .

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.

FUNDAÇÃO CEPRO. Cerrados Piauienses. Teresina, 2002.

GOEDERT, W. J. Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA, 1987. 422p.

HUETE, A. Status of MODIS Biophysical and Land cover products for long term time series analysis (terra and aqua). In: Workshop sobre o Sensor MODIS: Possibilidades e Aplicações na

Análise e Monitoramento Ambiental, 1., Goiânia, GO: UFG, 2003. (Seção Palestra).

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, Nov. 2002.

HUETE, A.R.; JACKSON, R.D.; POST, D.F. Spectral response of a plant canopy with different soil background. *Remote Sensing of Environment*, v. 17. n. 1, p. 37-53, Feb. 1985.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, Aug. 1988.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document, 1999. Disponível em: <[modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2004.

HUETE, A.; LIU, H.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 59, n. 3, p. 440-451, Mar. 1997.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. TAR: Summary for Policymakers.* [http://www.meto.gov.uk/sec5/CR\\_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf](http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf). 2001, Acesso em: Agosto de 2006.

IPPOLITI-RAMILO, G.A.; EPIPHANIO, J.C.N.; SHIMABUKURO, Y.E. Landsat-5 Thematic Mapper data for pre-planting crop area evaluation in tropical countries. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 7, p. 1521-1534, jul. 2003.

IPPOLITI-RAMILO, G.A.; EPIPHANIO, J.C.N.; SHIMABUKURO, Y.E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. *Agricultura em São Paulo*, v.46, n.1, p.89-101, jan. 1999.

JENSEN, J.R. Remote sensing of vegetation. *Remote sensing of the environment, an earth*

resource perspective. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000. 544 p, cap.10. p. 333-377.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J.R.G. ; VERMOTE, E.F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.E.; SALEOUS, N.; ROY, D.P.; MORISETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 3 –15, 2002.

JUSTICE, C.O. & TOWNSHEND, J. Special issue on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): a new generation of land surface monitoring. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1, p. 1-2, 2002.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado, *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

Liu, W.T.; Kogan, F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 6, p. 1161-1179, May 2002.

LAMB, D.W.; BROWN, R.B. Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 78, n. 2, p.117-125, 2001.

LANDSAT. Landsat 7 - informações técnicas. 2003. Disponível em: <[www.landsat.com.br](http://www.landsat.com.br)>. Acesso em: 05 jul. 2007.

LIMA, I. M. de M. Fé. Relevo piauiense: uma proposta de classificação. *Carta CEPRO*. Teresina, Fundação CEPRO, v. 12, n. 2, p. 55 – 84, ago./dez. 1987.

LIU, W.T.; KOGAN, F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices. *International Journal of Remote Sensing*, v.23, n. 6, p. 1161-1179, May 2002.

MALLATO JUNIOR, H., *Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas*. Brasília. UNESCO 2001.

MATHER, P.M. *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. 2 ed. London: John Wiley & Sons, 1999. 210 p.

MELO, R.W.; Fontana, D.C.; Berlato, M.A. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o Estado do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 173 -179. Disponível na biblioteca digital URLib <150.163.34.2:1908/rep- /tid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.11.52 > Acesso em: 15 jun. 2003.

MELO, R.W.; Fontana, D.C.; Berlato, M.A. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o Estado do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 173 -179. Disponível na biblioteca digital URLib < 150.163.34.2:1908/rep- ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.11.52 > Acesso em: 15 jun. 2003.

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Technical specifications, 2003. Disponível em: <modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html> Acesso em: 14 mai. 2003.

MOREIRA, M.A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 1. ed. São José dos Campos – SP, INPE, 2001. 250 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA ). 40+ Years of Earth Science, Landsat-6. 2004. Disponível em: <www.earth.nasa.gov/history/landsat/landsat6.html>. Acesso em: 05 jan. 2004.

OETTER, D.R.; COHEN, W.B.; BERTERRETICHE, M.; MAIERSPERGER, T.K.; KENNEDY, R.E. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. Remote Sensing of Environment, v.76, n. 2, p. 139-155, May 2000.

OKIN, G. S. Relative spectral mixture analysis — A multitemporal index of total vegetation cover. Remote Sensing of Environment, v. 106, p. 467–479, 2007.

OLDEMAN, L. R.; HAKKELING, R. T. A.; SOMBROEK, W. G. World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation. Wageningen, International Soil Reference and Information Centre, 1990.

PAX-LENNEY, M.; WOODCOCK, C.E. The effect of spatial resolution on the ability to monitor the

status of agricultural lands. *Remote Sensing of Environment*, v.61, n. 2, p. 210-220, Aug. 1997.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Imagens Landsat na estimativa da área plantada com soja em municípios do Rio Grande do Sul. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 231 -238. Disponível na biblioteca digital URLib < 150.163.34.2:1908/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.16.47 > Acesso em: 23 jun. 2003.

RUNNING, S.W.; JUSTICE, C.; SALOMONSON, V.; HALL, D.; BARKER, J.; KAUFMAN, Y.; STRAHLER, A.; HUETE, A.; MULLER, J.P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z.M.; TEILLET, P.; CARNEGIE, D. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, v. 15, n. 17, p.3587-3620, 1994.

SALES, M. C. L. Degradação ambiental em Gilbués, Piauí. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, v. 2, n. 4, 2003.

SCHOWENGERDT, R.A. *Models and methods for image processing*. 2. ed. 1997, 522p. United States Department of Survey (USGS). Landsat 4-5 TM band designations. 2003. Disponível em: <edc.usgs.gov/products/satellite/ band.html>. Acesso em: 23 out. 2003.

UNEP. *World Atlas of Desertification*. London, Arnold, 1992.

"United Nations Convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa." United Nations Secretariat for the Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany 2001. <http://www.unccd.org>.

VERMOTE, E. F.; VERMEULEN, A. **Atmospheric correction algorithm**: spectral reflectances (MOD09). Algorithm Theoretical Background, version 4.0. NASA, 1999. Disponível em: <modis-land.gsfc.nasa.gov/pdfs/atbd\_mod08.pdf> Acesso em: Jan. 2004.

### 3 CAPÍTULO 1

## GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DE ÁREAS DEGRADADAS NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO EM GILBUÉS, PI

F. B. SILVA<sup>1</sup>, A. A. C. SALVIANO<sup>2</sup>, V. C. B. VIEIRA<sup>3</sup>, J. B. ANDRADE<sup>4</sup>, M. A. MOREIRA<sup>5</sup>

### 3.1 RESUMO

O estudo da degradação do solo tem sido favorecido pelo avanço tecnológico de áreas do conhecimento como sensoriamento remoto e geoprocessamento, no sentido de aumentar a abrangência em área, diminuir o tempo e os custos e aumentar a precisão das análises. Este trabalho teve como objetivo mapear processos de degradação do solo, por exposição, no núcleo de desertificação em Gilbués, Piauí, qualificando de acordo com a intensidade de degradação, formação geológica e precipitação. Foram utilizadas imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* – MODIS, abordo do satélite EOS-TERRA, imagens de radar do projeto Shuttle Radar Topographic Mission e imagens ETM+, processadas em um sistema de informações geográficas originando um mapa temático com seis níveis de degradação do solo. O mapa resultante indica uma área de 7.759,56 km<sup>2</sup> como degradada. Tal degradação está concentrada na região sudoeste em cinco municípios: Gilbués (1.760,99 km<sup>2</sup>), Barreiras (1.246,46 km<sup>2</sup>), Corrente (790,53 km<sup>2</sup>), Riacho Frio (689,53 km<sup>2</sup>) e São Gonçalo do Gurguéia (697,04 km<sup>2</sup>). Dentre esses, Gilbués apresenta maior percentual nos níveis mais severos (48,33%). Essa região é caracterizada por cinco classes geológicas que detêm 70% da degradação e dentre elas o Grupo Areado apresenta-se como núcleo do processo apresentando maior área degradada nos níveis mais severos. Houve intensificação vertical da degradação observada pelos indicadores índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e produtividade primária. As imagens MODIS mostraram-se eficientes na detecção de áreas degradadas pela exposição do solo.

Termos de indexação: modelo linear de mistura espectral, cerrado, MODIS.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Agronomia da Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – Bairro Ininga, Teresina – PI. CEP: 64.049-550. Email: [fabricaoagro@hotmail.com](mailto:fabricaoagro@hotmail.com).

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola – UFPI, [assalviano@uol.com.br](mailto:assalviano@uol.com.br).

<sup>3</sup> Professora do Curso de Tecnologia em Sensoriamento Remoto do Centro Federal Educação Tecnológica do Piauí – CEFET-PI. [valdirabrito@hotmail.com](mailto:valdirabrito@hotmail.com).

<sup>4</sup> Professora Adjunta do Curso de Agronomia da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. [julianeuema@uol.com.br](mailto:julianeuema@uol.com.br).

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil [mauricio@ltd.inpe.br](mailto:mauricio@ltd.inpe.br).

## GEOTECHNOLOGY IN THE MAPPING OF AREAS DEGRADED IN THE NUCLEUS OF DESERTIFICATION IN GILBUÉS-PI

### 3.2 ABSTRACT

The study of soil degradation has been favored by the advanced technology of scientific areas as the remote sensing and the geoprocessing increasing the size of the areas studies, reducing the time and costs and increasing the precision of the analyses. The present work had as objective maps processes of degradation of the soil, for exhibition, in the nucleus of desertification in Gilbués, Piauí, qualifying in agreement with the degradation intensity, geological formation and precipitation. Images of the sensor were used Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS, on board of the satellite EOS-EARTH, images of radar of the project Shuttle Radar Topographic Mission and images ETM+, processed in a system of geographical information originating a thematic map with six levels of degradation of the soil. The resulting map indicated 7.759,56 km<sup>2</sup> witch degraded. That area it is concentrated in the southwest region in five municipal districts: Gilbués (1.760,99 km<sup>2</sup>), Barreiras (1.246,46 km<sup>2</sup>), Corrente (790,53 km<sup>2</sup>), Riacho Frio (689,53 km<sup>2</sup>) and São Gonçalo do Gurguéia (697,04 km<sup>2</sup>). Among those, Gilbués introduces larger percentile in the most severe levels (48,33%). That area is characterized by five geological classes that had 70% of the degradation and among them I Group Polished it comes as nucleus of the process presenting larger area degraded in the most severe levels. There was vertical intensification of the degradation observed by the indicators vegetation index by normalized difference (NDVI) and primary productivity. The images MODIS were shown efficient in the detection of areas degraded by the exhibition of the soil.

Index terms: spectral linear mixture model, savanna, MODIS.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A definição e caracterização de processos de degradação do solo têm sido amplamente discutidas pela comunidade científica, conseqüentemente gera conceitos que variam de acordo com o foco da área do conhecimento e a finalidade atribuída ao solo. A ciência do solo tem procurado verificar essas divergências conceituais a partir da associação de processos de degradação aos indicadores de qualidade do solo.

Estima-se que cerca de 23% de toda a terra arável do planeta esteja sendo afetada por processos de degradação. Na década de 90 aproximadamente 910 milhões de hectares foram classificados como “moderadamente degradados”, 296 milhões de hectares como “fortemente degradados” e 9 milhões de hectares como “extremamente degradados” (UNEP 1992, Oldeman et al., 1990).

Técnicas de geoprocessamento e dados provenientes de sensoriamento remoto têm contribuído para a identificação e compreensão desses processos por permitir análises em grandes áreas, em séries temporais, agregando vários parâmetros, diminuindo conseqüentemente o tempo e os custos necessários.

Nesse sentido, o cerrado enquanto segundo maior bioma do Brasil, cobrindo aproximadamente 45% do território nacional (Klink & Machado, 2005), tem sido objeto de estudos relacionados a antropização e suas conseqüências regionais e globais, como o desmatamento no agravamento de mudanças climáticas (IPCC, 2001).

A dinâmica da cobertura do solo mediante variações de fatores climáticos e sua capacidade de suporte da vida vegetal e animal são parâmetros considerados, para identificar e caracterizar processos de degradação (Costa, 2003).

Dinâmica essa que na região de Gilbués-PI tem despertado interesse da comunidade científica e devido à ocorrência de um processo de degradação ambiental particular, tanto pela área de abrangência, quanto pelas supostas causas precursoras (Sales, 2003).

Nessa temática, a análise espacial de imagens de satélite em séries temporais tem subsidiado estudos que visam identificar processos de degradação do solo em escala local, regional e global, o que permiti análises de impacto ambiental e suas conseqüências.

O sensor MODIS, um dos instrumentos a bordo dos satélites TERRA e AQUA, foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global em escala temporal que varia de diária à mensal, de acordo com o produto (Justice et al., 2002).

O objetivo dos produtos voltados para aplicações terrestres gerados pelo sistema MODIS está basicamente, na quantificação e detecção das mudanças na cobertura da terra devido aos processos naturais e antrópicos (Justice et al., 2002).

Tais avanços tecnológicos motivaram o presente estudo, cujo objetivo foi mapear as áreas degradadas por exposição do solo, no núcleo de desertificação em Gilbués, Piauí, utilizando geotecnologias.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

A área em estudo está localizada na abrangência do cerrado piauiense, entre as coordenadas 8° e 10° de latitude Sul e 43° e 46° de longitude Oeste, perfazendo uma área aproximada de 35.860,07 km<sup>2</sup>, compreendendo 15 municípios: Avelino Lopes, Barreiras do Piauí, Bom Jesus, Corrente, Cristalândia, Curimatá, Gilbués, Júlio Borges, Monte Alegre do Piauí, Morro Cabeça no Tempo, Parnaguá, Redenção do Gurguéia, Riacho Frio, São Gonçalo e Sebastião Barros.

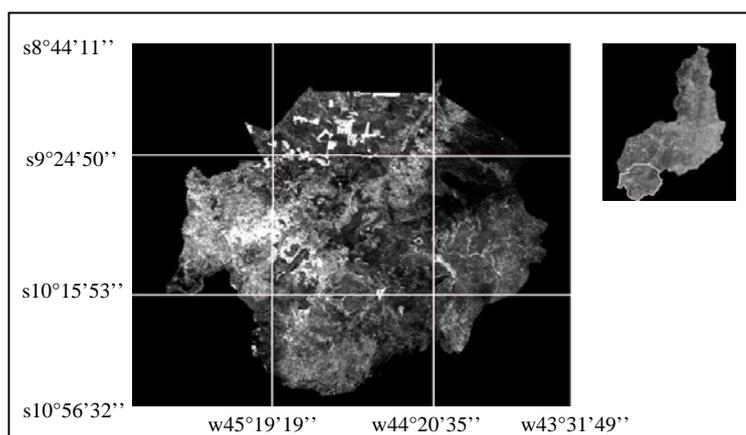


Figura 1. Imagem MODIS da região de estudo.

O conceito de degradação de solos utilizado no presente mapeamento considerou a exposição do solo à radiação solar e ao impacto das precipitações pluviométricas mediante a sazonalidade climática, acentuado pela declividade no incremento da vulnerabilidade aos processos degradantes. Além disso, áreas cultivadas extensivamente não foram consideradas degradadas, pois, o conceito de degradação utilizado entende como tal, o solo incapaz de dar suporte ao desenvolvimento vegetal.

Nesse sentido, para a identificação das áreas degradadas foi utilizadas imagens do sensor MODIS a bordo do satélite EOS-TERRA com o objetivo de identificar áreas nas quais a vegetação é imprópria na proteção do solo em relação à chuva e radiação solar.

Nesse processo foi também realizada uma expedição na área de estudo visando identificar visualmente as áreas degradadas e assim referenciá-las em relação nas imagens de satélite.

Nas áreas classificadas como degradadas foi observado alta variação na cobertura vegetal do solo de acordo com os períodos climáticos (seco e chuvoso), ou seja, no período seco o solo encontra-se totalmente descoberto e no período chuvoso uma cobertura arbustiva cobre parcialmente o solo, sendo essa variação detectada pelas imagens.

Por isso optou-se por uma análise que considerasse os períodos climáticos, seco e chuvoso, de forma associada, utilizando assim uma imagem referente ao período seco e outra referente ao período chuvoso.

A escolha das imagens ocorreu mediante o cálculo do balanço hídrico dos municípios e observado o início do período seco e chuvoso pelo excedente e déficit hídrico, sendo utilizadas duas imagens referentes ao final do período chuvoso e auge do período seco.

Foram utilizadas imagens do produto MO13Q1 250m Índices de Vegetação do sensor MODIS, adquiridas gratuitamente através do site da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA (EOS Data Gate Way), referentes aos meses de abril e setembro de 2006, visando à identificação de solos expostos, assim como foram utilizadas imagens LANDSAT e do programa GoogleEarth para auxiliar no processamento digital das imagens.

Para o fator declividade, gerou-se um mapa a partir de dados do radar do Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), projeto cooperativo entre a NASA, *National Geospatial-Intelligence Agency* – NGA, Agência Espacial Alemã – DLR e Agência Espacial Italiana – ASI. Estas imagens, devidamente processadas, foram obtidas por *download* no site da EMBRAPA. Em seguida, efetuou-se o mosaico das imagens, extração do modelo digital de elevação da área e geração do mapa de declividade fatiado de acordo com a classificação da EMBRAPA, 1999.

O processamento das imagens MODIS foi executado utilizando-se o software SPRING do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, utilizando as bandas azul, infravermelho médio, infravermelho próximo e vermelho do produto Índice de Vegetação (MOD13Q1).

Para identificar, quantificar e qualificar o grau de exposição do solo, inicialmente foi aplicada a técnica modelo linear de mistura espectral, extraíndo imagens de fração solo, sombra e vegetação das duas imagens referentes ao período climático seco e chuvoso.

É importante observar que em sensoriamento remoto a cobertura de nuvens no período chuvoso e a semelhança na coloração da vegetação e do solo no período seco dificultam classificar e interpretar imagens de satélite.

Para diminuir a influencia da sazonalidade climática na identificação do grau de exposição do solo, realizou-se uma média das bandas da fração solo dos períodos chuvoso (Figura 2a) e seco (Figura 2b), resultando em uma imagem do grau de exposição média do solo (Figura 2c).

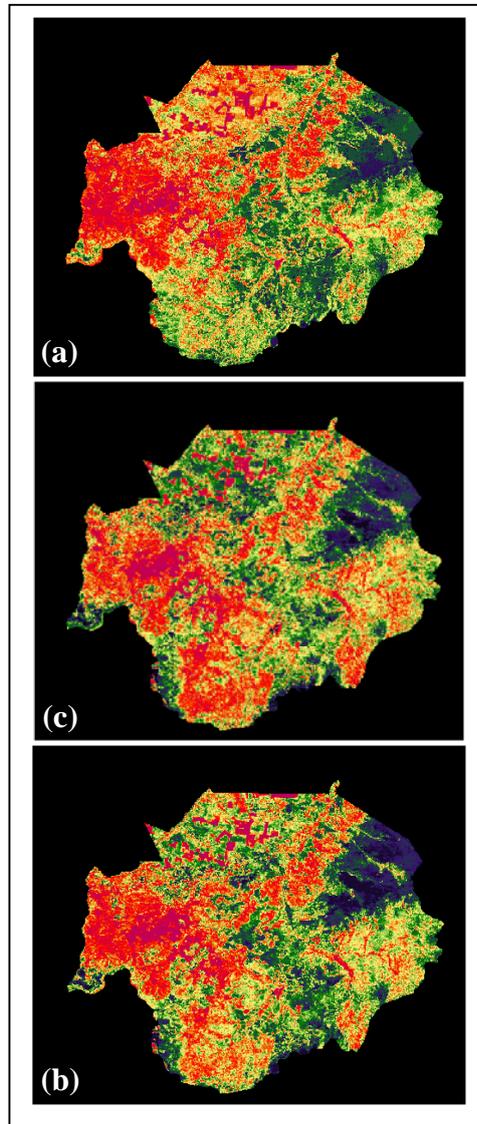


Figura 2. Imagens MODIS da fração solo: (a) período chuvoso, (b) período seco e (c) média entre os períodos seco e chuvoso.

Tal razão entre bandas é fundamentada na definição de imagem de satélite, sendo esta uma função bidimensional, da intensidade de luz refletida ou emitida por uma cena, na forma  $I(x,y)$ ; onde os valores de  $I$  representam, a cada coordenada espacial  $(x,y)$ , a intensidade da imagem nesse ponto. Essa intensidade é representada por um valor inteiro, não-negativo e finito, chamado nível de cinza onde, o nível de cinza é representado em cada ponto imageado pelos sensores, correspondendo a uma área mínima denominada "*pixel*" (picture cell), que deve estar

geograficamente identificado, e para o qual são registrados valores digitais relacionados à intensidade de energia refletida em faixas (bandas) bem definidas do espectro eletromagnético.

No software SPRING, utilizado neste trabalho, as imagens possuem uma resolução radiométrica de 8 bits, podendo os valores de cada pixel ter o valor absoluto variando entre 0 a 255 (preto = 0 e branco = 255).

Nesse sentido, quanto maior a densidade da vegetação e menor a exposição do solo mais próximo de 0 será o valor do pixel, da mesma forma, quanto maior a exposição do solo mais próximo de 225 será o valor do pixel.

Sendo assim, na imagem gerada a partir média das frações solo, aplicaram-se as técnicas de segmentação e classificação supervisionada, o que resultou em um mapa temático da intensidade de cobertura do solo.

O mapa de declividade, gerado a partir de dados do radar (SRTM), foi utilizado para a caracterização do relevo. Foram considerados seis níveis de declividade: nível 1: declividade >75%; nível 2: declividade entre 45% e 75%; nível 3: declividade entre 20% e 45%; nível 4: declividade entre 8% e 20%; nível 5: declividade entre 3% e 8% e nível 6: declividade entre 0% e 3%.

Esse fator declividade foi aliado ao fator cobertura do solo pelo cruzamento de mapas temáticos, por meio da linguagem de programação LEGAL do software SPRING, agrupando as classes de cobertura aos níveis de declividade o que resultou no mapa de degradação.

Nesse cruzamento, o nível máximo de degradação (nível 6) aliou o nível máximo de exposição do solo à todos os níveis de declividade, de 0 à superior a 75%; o nível 5 de degradação, aliou o nível 5 de cobertura do solo à declividade de 3% a 8%; o nível 4 aliou o nível 5 de cobertura do solo com declividade superior a 8%; o nível 3 aliou o nível 4 de cobertura à declividade superior a 20%; o nível 2 aliou o nível 3 de cobertura à declividade superior a 40% e o nível 1 aliou o nível de cobertura 3 a declividade superior a 75%. Desse cruzamento resultou o mapa temático que apresenta a degradação do solo, por exposição, na região estudada.

Observa-se que no mapa de degradação gerado foram excluídas as extensas áreas de cultivo agrícola.

Após a identificação, qualificação e quantificação das áreas degradadas realizou-se a caracterização quanto a geologia, utilizando o mapa geológico da Serviço Geológico do Brasil - CPRM, quanto ao vigor da vegetação e produtividade primária, avaliando uma série de oito anos.

Para avaliação do vigor da vegetação foram utilizados dados de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do produto MOD13Q1 e para avaliação da produtividade foram utilizados dados do produto MOD17A3, ambos oriundos do sensor MODIS.

### 3.5 RESULTADOS

O processamento digital das imagens MODIS resultou em um mapa com seis níveis de classificação de cobertura vegetal avaliando o grau de exposição do solo (Figura 3).

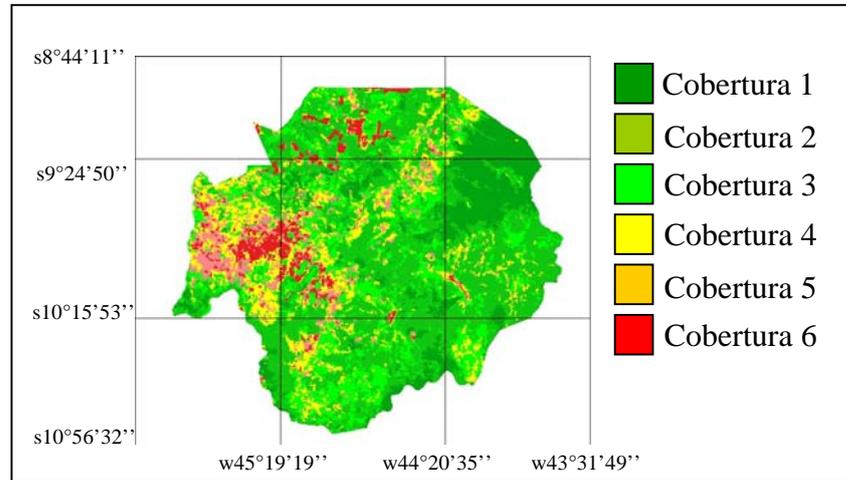


Figura 3. Mapa de intensidade de cobertura do solo.

Avaliando essas coberturas vegetais juntamente com informações coletadas em campo, imagens do satélite LANDSAT e do programa GoogleEarth, foram identificadas três tipos de cobertura (coberturas 4, 5 e 6) consideradas insuficientes na proteção do solo, ou seja, degradadas (Figura 4).





Figura 4. Tipos de cobertura do solo.

Após a identificação e mapeamento dos tipos de cobertura do solo considerados degradados, foi realizado o cruzamento do mapa de cobertura do solo com o mapa de declividade, visando qualificar as áreas quanto ao potencial erosivo gerando o mapa de áreas degradadas (Figura 5).

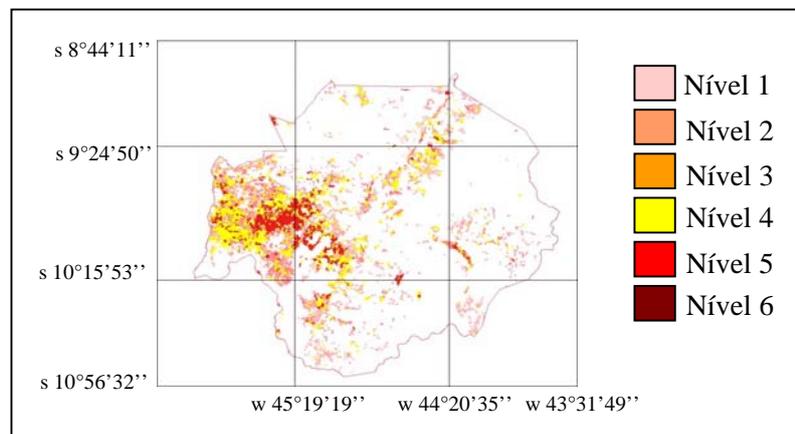


Figura 5. Mapa de degradação do solo.

Foram identificadas como degradadas, 21,64% da área total estudada (35.860, km<sup>2</sup>).

As áreas degradadas também foram quantificadas e qualificadas por município (Tabela 1) (mapas em anexo). Não foi observada correlação entre a área degradada por município com a área total do município.

Em percentual de área degradada total do município, Barreiras do Piauí destaca-se com 60,15%. No entanto, Gilbués apresenta maior área absoluta, 1.760,99 km<sup>2</sup>.

Tabela 1. Percentual de cada nível de degradação (Nv), área total degradada do município (ATDM) e percentual da área municipal degradada (PADM).

Município	Nv 1	Nv 2	Nv 3	Nv 4	Nv 5	Nv 6	ATDM (km <sup>2</sup> )	PADM %
<b>Núcleo de Desertificação de Gilbués</b>							<b>7.759,56</b>	<b>21,64%</b>
Avelino Lopes	2.07	0.00	8.94	0.00	39.48	48.08	98.57	7.47
Barreiras do PI	248.55	0.04	622.49	4.44	222.98	147.96	1246.46	60.15
Bom Jesus	13.39	0.00	110.42	4.85	125.74	278.36	532.76	9.54
Corrente	69.70	1.35	233.73	4.72	180.28	300.75	790.53	25.33
Cristalândia do PI	0.00	0.00	17.68	0.00	33.10	124.17	174.95	14.21
Curimata	22.60	0.00	50.01	0.04	89.82	102.72	265.19	10.99
Gilbués	380.54	4.43	520.42	4.48	394.18	456.94	1760.99	49.32
Júlio Borges	0.00	0.00	6.94	0.00	20.60	129.31	156.85	12.70
Monte Alegre do PI	80.58	2.12	193.77	3.32	128.07	171.50	579.36	23.51
Morro C. no Tempo	0.00	0.00	11.94	0.00	36.34	37.25	85.53	3.79
Parnaguá	22.82	0.00	34.90	0.00	52.38	62.09	172.19	5.13
Redenção do Gurguéia	23.95	0.15	155.95	2.23	96.24	171.89	450.41	49.97
Riacho Frio	71.37	1.63	195.29	1.36	151.70	268.18	689.53	30.37
São G. do Gurguéia	141.83	9.37	156.14	3.46	240.30	145.94	697.04	49.25
Sebastião Barros	0,00	5,27	20,35	0,00	4,48	15,68	45,77	4,41
<b>Total</b>	<b>1078.97</b>	<b>19.08</b>	<b>2327.43</b>	<b>28.90</b>	<b>1832.32</b>	<b>2472.86</b>	<b>7759.56</b>	<b>21.64</b>

Pela caracterização geológica foi observado que 70% (5.478,77 km<sup>2</sup>) das áreas degradadas do núcleo concentram-se em apenas 5 classes geológicas: Formação Piauí, Formação Poti, Grupo Urucuia, Grupo Areado e Formação Sambaíba (Tabela 2). Sendo que, estão concentradas na região limítrofe entre as classes. Desse total, a Formação Piauí possui maior quantidade de áreas degradadas (27,77%), no entanto, o Grupo Areado possui maior quantidade de áreas degradadas nos níveis mais intensos 5 e 6 (9,71%).

Tabela 2. Formações que concentram maior quantidade de áreas degradadas, C2pi – Formação Piauí, T12s – Formação Sambaíba, K2u – Grupo Urucua, K1a – Grupo Areado, C1po – Formação Poti.

Classe Geológica	C2pi	T12s	K2u	K1a	C1po	Total	%
Nível 1	498.02	88.31	233.52	146.15	457.94	1423.95	25.99
Nível 2	393.53	115.10	400.43	73.39	244.81	1227.25	22.40
Nível 3	8.47	2.20	7.46	7.40	2.45	27.97	0.51
Nível 4	469.92	0.00	359.84	242.43	375.96	1448.16	26.43
Nível 5	0.31	384.62	3.76	14.99	1.63	405.32	7.40
Nível 6	151.10	72.19	106.13	516.84	99.86	946.12	17.27
Total	1521.36	662.42	1111.15	1001.19	1182.65	5478.77	

De acordo com a descrição das formações geológicas que caracterizam o processo de degradação na área estudada, a Formação Piauí consiste-se de depósitos de dunas eólicas, de interdunas e planícies de deflação; a Formação Sambaíba consiste-se de arenito fino, caolínico, com granulometria bimodal, interpretado como eólico; as Formações Urucua, Grupo Mata da Corda e Grupo Areado consistem de sedimentos que devido a sua disposição tubular, apresentam superfície profundamente retalhada com seccionamento dos domínios de acumulação, que facilita o rápido retorno das águas a superfície como escoamento de base dos rios; a Formação Urucua é essencialmente arenosa com arenitos de granulometria fina a grosseira (Campos, 1997).

De acordo com tal descrição observa-se que pelo histórico da ocupação e uso das terras na região do cerrado piauiense (Fundação CEPRO, 2002), existem evidências da ocorrência da exposição de tais formações às intempéries climáticas, acentuadas pela declividade. Consequentemente a estrutura preponderantemente arenosa e não consolidada sofreu processos erosivos até o limite litólico.

Conjuntamente com os dados de NDVI foi observado o comportamento da precipitação no período chuvoso devido a alta covariação entre as duas variáveis. No entanto, utilizou-se dados de precipitação apenas de 2002 a 2007 devido a falta de dados de 2000 a 2001 (Gráfico 1).

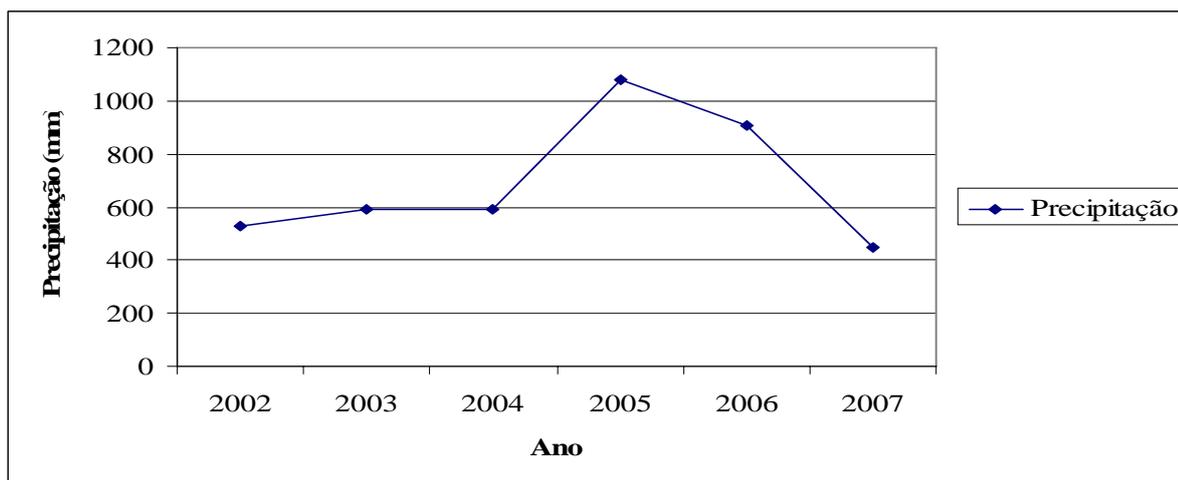


Gráfico 1. Precipitação do período chuvoso (Plataforma de Coleta de Dados de Santa Filomena – PI).

A avaliação dos dados de NDVI (Gráfico 2) revelou que os níveis de degradação mais intensos obviamente possuem menores índices de vegetação, mostrando um comportamento semelhante ao da precipitação. Porém o declínio do vigor da vegetação no nível 6 é mais acentuado no momento em que decresce a precipitação e a recuperação mediante ao aumento da precipitação é mais lenta.

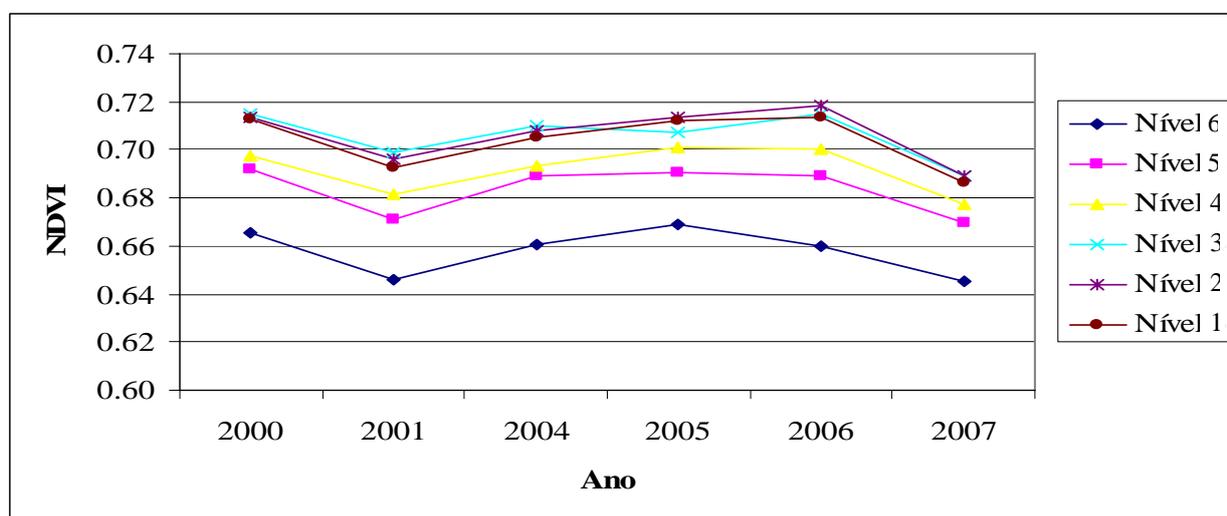


Gráfico 2. Variação do NDVI em cada nível de degradação ao longo do período estudado.

Observou-se o comportamento do NDVI também dentro das classes geológicas que possuem maior quantidade de áreas degradadas (Gráfico 3). O Grupo Areado (K1a) apresentou os menores

valores, indicando menor vigor da vegetação nessa classe geológica, assim como apresentou também menor co-variação com a precipitação.

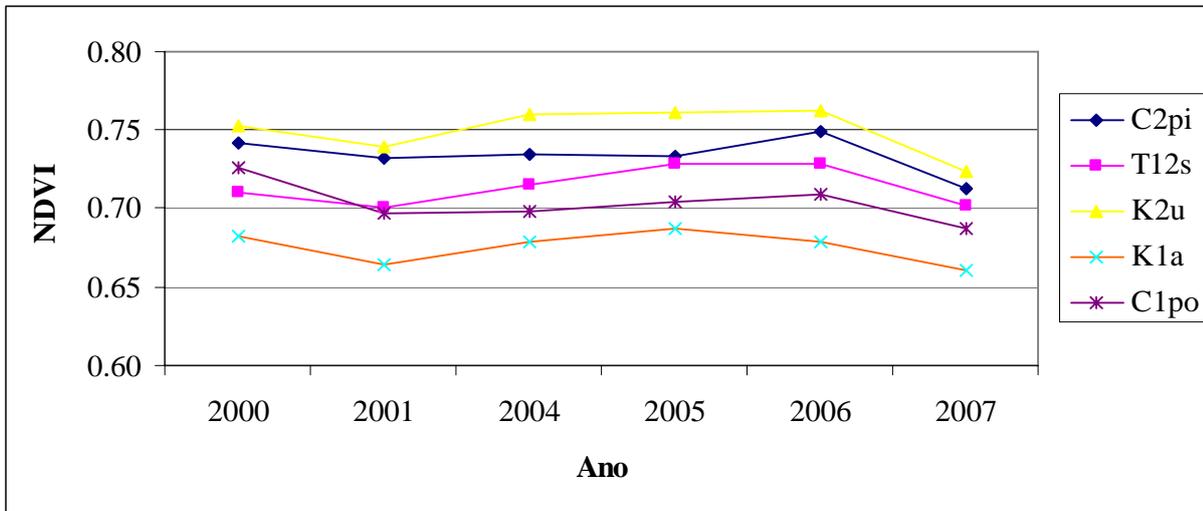


Gráfico 3. Variação do NDVI nas classes geológicas que apresentaram maiores quantidades de áreas degradadas ao longo do período estudado.

Avaliou-se a produtividade primária dentro de cada nível de degradação, todos apresentaram tendência ao decréscimo ao longo do tempo estudado, indicando o agravamento vertical do processo de degradação (Gráfico 4).

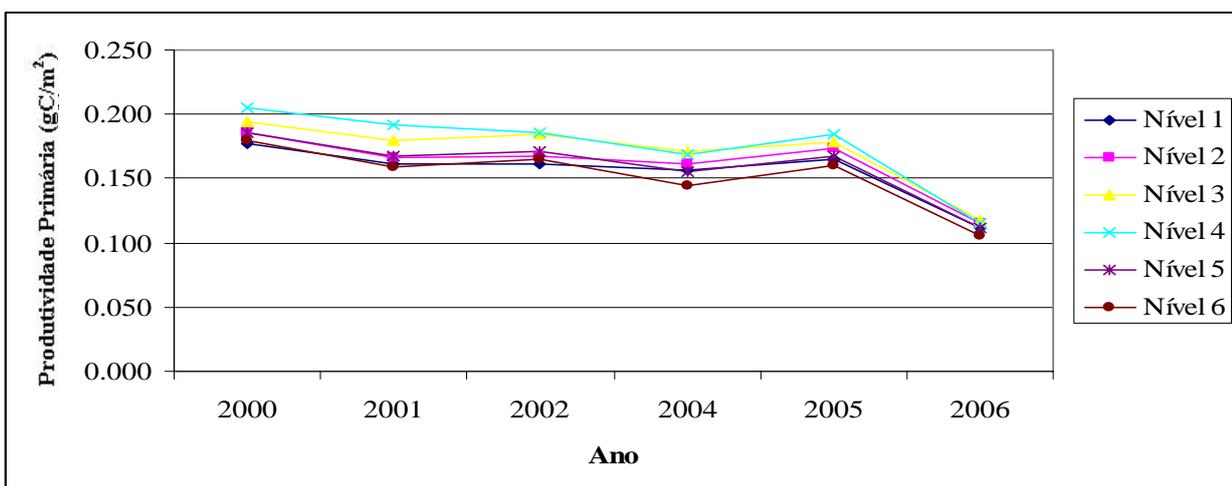


Gráfico 4. Produtividade primária por níveis de degradação.

Assim como nos níveis de degradação, o decréscimo na produtividade primária foi observado em todas as classes geológicas, no entanto, na Formação Poti, Grupo Piauí e Grupo Areado os decréscimos foram mais acentuados (Gráfico 5).

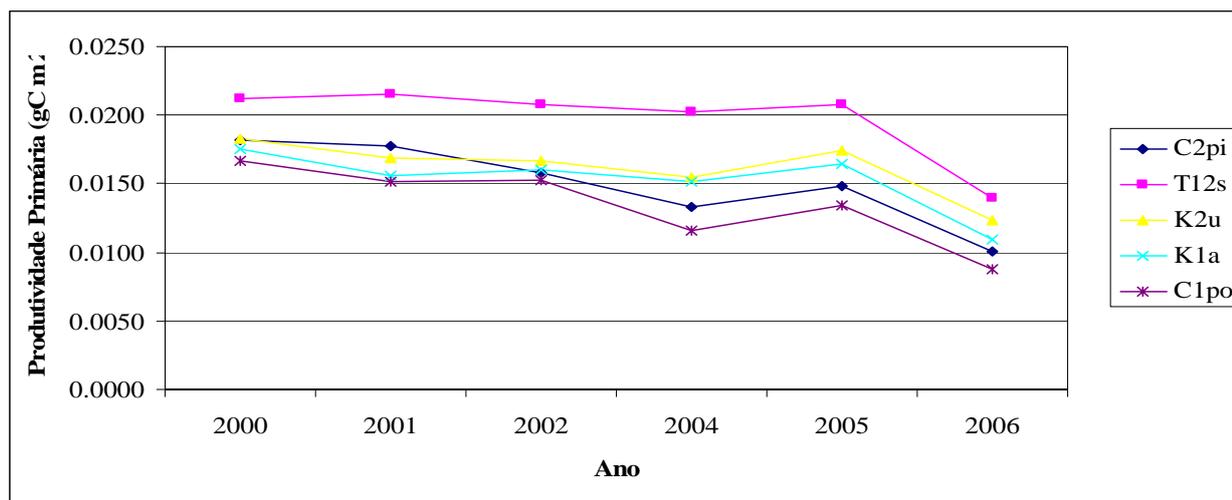


Gráfico 5. Produtividade primária nas classes geológicas mais degradadas.

### 3.6 DISCUSSÃO

Apesar de não ter sido encontrado um consenso na literatura consultada sobre a categorização de processos de degradação, neste estudo optou-se pela utilização do termo “área degradada” para definir o processo de degradação na região de estudo, seguindo o entendimento proposto pela FAO (UNCED, 1993), sendo que, de acordo com observações de campo e relatos de outros estudos, Silva (1972) citado por Sales (2003), o solo não perdeu a capacidade produtiva e sim, sofreu um processo erosivo expondo a camada litólica.

Os estudos sobre processos de degradação ambiental na região de estudo, focalizaram principalmente o município de Gilbués. Segundo Sales (2003) a primeira referência encontrada sobre o processo de degradação no município foi realizada por Silva (1972), onde cita o relevo bastante dissecado, formação de voçorocas e formação de solos concrecionários e litossolos.

Sales (2003) cita trabalhos que identificam como área degradada no município de Gilbués, totais de 389 a 1.500 km<sup>2</sup>, sendo este último valor, do Relatório Final do Projeto RADAMBRASIL vol.1 (BRASIL, 1973), valor que se aproxima do encontrado neste trabalho, 1.760,99 km<sup>2</sup>, para o município de Gilbués, apresentando também o maior percentual de área degradada nos níveis 5 e 6 (49,32%).

Crepani et al. (2008) ao avaliar o uso e cobertura vegetal do solo em Gilbués e Monte Alegre constata 622,33 km<sup>2</sup> e 163,02 km<sup>2</sup> respectivamente, de solo exposto. No presente trabalho, de acordo com os níveis de exposição do solo identificados, a classe correspondente ao solo totalmente exposto é representada pelo nível 6 de cobertura (Figura 3) e no mapa final de degradação nível 5 e 6 de degradação (Figura 5). Constatou-se portanto, um total de 851,12 km<sup>2</sup> e

299,57 km<sup>2</sup> referentes ao nível máximo de degradação, o que representa uma diferença de 26,89% e 45,58% em Gilbués e Monte Alegre respectivamente.

Tal diferença pode ser causada pela aplicação de diferentes metodologias. No presente estudo foram utilizados dados do sensor MODIS do satélite EOS-TERRA, sendo que, para quantificação da exposição do solo foram considerados os períodos chuvoso (abril) e seco (setembro), além da utilização de operações entre bandas.

Crepani et al. (2008) utilizou imagens do sensor ETM+ do satélite LANDSAT, de um período climático apenas, mosaizando, ou seja, unido cenas datadas de 17/06/2006 e 19/07/2006.

Comparando os dois sensores, o MODIS possui uma resolução espacial inferior, o que gera erros de classificação em relação ao ETM+. No entanto, estudos mostram que tal diferença é reduzida quanto maior a área de estudo chegando a <5% em área superior a 70 ha (COSTA E SOUZA JR., 2005).

A constatação da concentração do processo de degradação na parte sudoeste do núcleo, o estudo do histórico de ocupação da região (AGUIAR, 2005) e a observação de estudos realizados na região visando a quantificação do processo (BRASIL, 1973; DINIZ, 1982; SEMA, 1986; CREPANI et al. 2008), mostram evidências de uma caracterização em comum do fenômeno, assim como a estabilização do processo.

De acordo com Barcellar (1990), a ocupação do cerrado piauiense ocorreu a partir do século XVII e principalmente pela região sudoeste do cerrado piauiense, motivado pelo desbravamento de novas áreas devido ataques indígenas, ciclo canavieiro, pecuário, mineração e recentemente pelo avanço do cultivo de algodão e grãos. Tal evolução promoveu a concentração econômica e de estudos em relação à impactos ambientais nos municípios do entorno de Uruçuí e Gilbués.

A focalização de Gilbués como centro do processo de degradação na região, pelos estudos encontrados na literatura, voltou as atenções para o Grupo Areado como a principal classe geológica degradada (SALES, 1972; BRASIL, 1973), no entanto, a caracterização geológica revelou que cinco classes, incluindo o Grupo Areado, detêm 70% das áreas degradadas.

No entanto, confirma-se que o dentre essas o Grupo Areado possui maior quantidade de áreas degradadas no estágio mais elevado, assim como apresentou indicadores de índice de vegetação menores, o que não ocorreu com a produtividade primária, sendo que, esta última é afetada pelo tipo de vegetação predominante, nesse caso gramíneas.

As imagens MODIS de fração solo oriundas do produto MOD13Q1 250m, na composição vermelho (R), infravermelho médio (G) e azul (B), tratadas pelo modelo linear de mistura e classificadas, indicaram eficiência na avaliação do grau de exposição do solo mediante a sazonalidade climática. Desempenho esse também constatado em estudos de identificação de

desmatamento, qualificação da cobertura do solo e identificação de queimadas (JUSTICE et al., 2002; OKIN, 2007; JUSTICE & TOWNSHEND, 2002; RUNNING et al., 1994).

### **3.7 CONCLUSÕES**

O processo de degradação no Núcleo de Desertificação de Gilbués-PI ocorre em 21,64% da área, sendo concentrado na região sudoeste (66,81%) em cinco municípios: Gilbués, Barreiras, Riacho Frio e São Gonçalo do Gurguéia.

O município de Gilbués apresenta maior área degradada nos estágios mais avançados, níveis 5 e 6 (48,33%).

O Grupo Areado é a classe geológica afetada pelo processo de degradação de forma mais severa e constitui o núcleo do processo de degradação na área de estudo, por apresentar maior percentual de área degradada nos estágios mais severos. Além disso, quatro classes geológicas que concentram 70% das áreas degradadas são limítrofes a essa formação.

Apesar da literatura consultada citar a estabilização do processo de degradação, observou-se pelos indicadores índice de vegetação e produção primária, a intensificação vertical da degradação nos últimos 8 anos.

As imagens MODIS oriundas do produto MOD13Q1 250m de índice de vegetação (NDVI) mostraram-se eficientes para identificar de áreas degradadas, por exposição do solo, em região de cerrado.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGUIAR, T. J. A. de; MONTEIRO, M. S. L. Agricultural model and sustainable development: the occupation of Piauí savanna. *Ambient. soc.*, Campinas, v. 8, n. 2, 2005.

BACELLAR, O. I. de B. Causas e tendências do processo migratório piauiense. Teresina: Fundação CEPRO, 1990.

BIN, A.; SALLES FILHO, S. L. M.; PAULINO, S. R.; RODRIGUES, G. S. Impactos ambientais na agricultura: um método de avaliação de programas tecnológicos. *Rev. Cent. Ciênc. Admin.*, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 76-83, 2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAM. Parte das folhas SC. 23. Rio São Francisco e SC. 24. Aracaju. Levantamentos de recursos naturais. Rio de Janeiro, v.1, 1973.

BAILEY, T.C.; GATRELL, A.C. Interactive spatial data analysis. London: Editora Longman, 1995. 413 p.

CÂMARA, G. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. 1995 281 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível na biblioteca digital URib: <[www.dpi.inpe.br/teses/gilberto/](http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto/)>1995.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução ao geoprocessamento In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001(INPE-8568-RE/4312). Disponível na biblioteca digital URLib: <[www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf)>. p Acesso em:31 set. 2007.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. DE; Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: Assad, E.D.; Sano, E.E. Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA Cerrados, p. 3-11, 2 ed. 1998, 434 p.

CAMPOS, J. E. G. & DARDENNE, M. A. Estratigrafia e sedimentação da bacia sanfranciscana: uma revisão. Revista Brasileira de Geociências. 27(3):269-282, setembro de 1997.

CASADY, W.W.; Harlan, I.P. Precision agriculture: remote sensing and ground truthing. 2002. Disponível em: <[muextension.missouri.edu/explore/](http://muextension.missouri.edu/explore/)> Canada Centre for Remote Sensing (CCRS). Remote sensing tutorial. 2002. Disponível em: <[www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/educate.html](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/educate.html)>. Acesso em: 28 nov. 2007.

COSTA, A. S. & SOUZA JR, C. M. Comparação entre imagens landsat etm+ e modis/terra para detecção de incrementos de desmatamento na região do baixo acre. Revista Brasileira de Cartografia, No 57/02, 2005.

COSTA, R. B. (org) Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região centro-oeste. Campo Grande: UCDB, 2003. 246p.

COVEY, R.J. Remote sensing in precision agriculture: an educational paper. 1999. Disponível em: <[www.amesremote.com/contents.htm](http://www.amesremote.com/contents.htm)> Acesso em: 13 ago. 2007.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; PALMEIRA, A. F.; SILVA, E. F. Banco de dados geográficos dos municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí (PI) (municípios pertencentes ao núcleo de desertificação de Gilbués). São José dos Campos. INPE-15186-RPQ/814. 2008.

DORAN, J., Soil health and global sustainability: translating science into practice *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 88, Issue 2, February 2002, Pages 119-127 .

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.

FUNDAÇÃO CEPRO. Cerrados Piauienses. Teresina, 2002.

HUETE, A. Status of MODIS Biophysical and Land cover products for long term time series analysis (terra and aqua). In: Workshop sobre o Sensor MODIS: Possibilidades e Aplicações na Análise e Monitoramento Ambiental, 1., Goiânia, GO: UFG, 2003. (Seção Palestra).

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, Nov. 2002.

HUETE, A.R.; JACKSON, R.D.; POST, D.F. Spectral response of a plant canopy with different soil background. *Remote Sensing of Environment*, v. 17. n. 1, p. 37-53, Feb. 1985.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, Aug. 1988.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document, 1999. Disponível em: <[modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2004.

HUETE, A.; LIU, H.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 59, n. 3, p. 440-451, Mar. 1997.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. TAR: Summary for Policymakers. [http://www.meto.gov.uk/sec5/CR\\_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf](http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf). 2001, Acesso em: Agosto de 2006.

IPPOLITI-RAMILO, G.A.; EPIPHANIO, J.C.N.; SHIMABUKURO, Y.E. Landsat-5 Thematic Mapper data for pre-planting crop area evaluation in tropical countries. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 7, p. 1521-1534, jul. 2003.

IPPOLITI-RAMILO, G.A.; EPIPHANIO, J.C.N.; SHIMABUKURO, Y.E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. *Agricultura em São Paulo*, v.46, n.1, p.89-101, jan. 1999.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J.R.G. ; VERMOTE, E.F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.E.; SALEOUS, N.; ROY, D.P.; MORISETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 3 –15, 2002.

JUSTICE, C.O. & TOWNSHEND, J. Special issue on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): a new generation of land surface monitoring. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1, p. 1-2, 2002.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado, *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

LIU, W.T.; KOGAN, F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 6, p. 1161-1179, May 2002.

LAMB, D.W.; BROWN, R.B. Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 78, n. 2, p.117-125, 2001.

LANDSAT. Landsat 7 - informações técnicas. 2003. Disponível em: <[www.landsat.com.br](http://www.landsat.com.br)>. Acesso em: 05 jul. 2007.

MALLATO JUNIOR, H., Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas. Basília. UNESCO 2001.

MATHER, P.M. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. 2 ed. London: John Wiley & Sons, 1999. 210 p.

MELO, R.W.; Fontana, D.C.; Berlato, M.A. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o Estado do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 173 -179. Disponível na biblioteca digital URLib <150.163.34.2:1908/rep- /ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.11.52 > Acesso em: 15 jun. 2003.

MELO, R.W.; Fontana, D.C.; Berlato, M.A. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o Estado do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 173 -179. Disponível na biblioteca digital URLib < 150.163.34.2:1908/rep- ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.11.52 > Acesso em: 15 jun. 2003.

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Technical specifications, 2003. Disponível em: <modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html> Acesso em: 14 mai. 2003.

MOREIRA, M.A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 1. ed. São José dos Campos – SP, INPE, 2001. 250 p.

National Aeronautics and Space Administration (NASA ). 40+ Years of Earth Science, Landsat-6. 2004. Disponível em: <www.earth.nasa.gov/history/landsat/landsat6.html>. Acesso em: 05 jan. 2004.

OETTER, D.R.; COHEN, W.B.; BERTERRETICHE, M.; MAIERSPERGER, T.K.; KENNEDY, R.E. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. Remote Sensing of Environment, v.76, n. 2, p. 139-155, May 2000.

OKIN, G. S. Relative spectral mixture analysis — A multitemporal index of total vegetation cover. *Remote Sensing of Environment*, v. 106, p. 467–479, 2007.

OLDEMAN, L. R.; HAKKELING, R. T. A.; SOMBROEK, W. G. *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation*. Wageningen, International Soil Reference and Information Centre, 1990.

PAX-LENNEY, M.; WOODCOCK, C.E. The effect of spatial resolution on the ability to monitor the status of agricultural lands. *Remote Sensing of Environment*, v.61, n. 2, p. 210-220, Aug. 1997.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Imagens Landsat na estimativa da área plantada com soja em municípios do Rio Grande do Sul. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 231 -238. Disponível na biblioteca digital URLib < 150.163.34.2:1908/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.16.47 > Acesso em: 23 jun. 2003.

RUNNING, S.W.; JUSTICE, C.; SALOMONSON, V.; HALL, D.; BARKER, J.; KAUFMAN, Y.; STRAHLER, A.; HUETE, A.; MULLER, J.P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z.M.; TEILLET, P.; CARNEGIE, D. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, v. 15, n. 17, p.3587-3620, 1994.

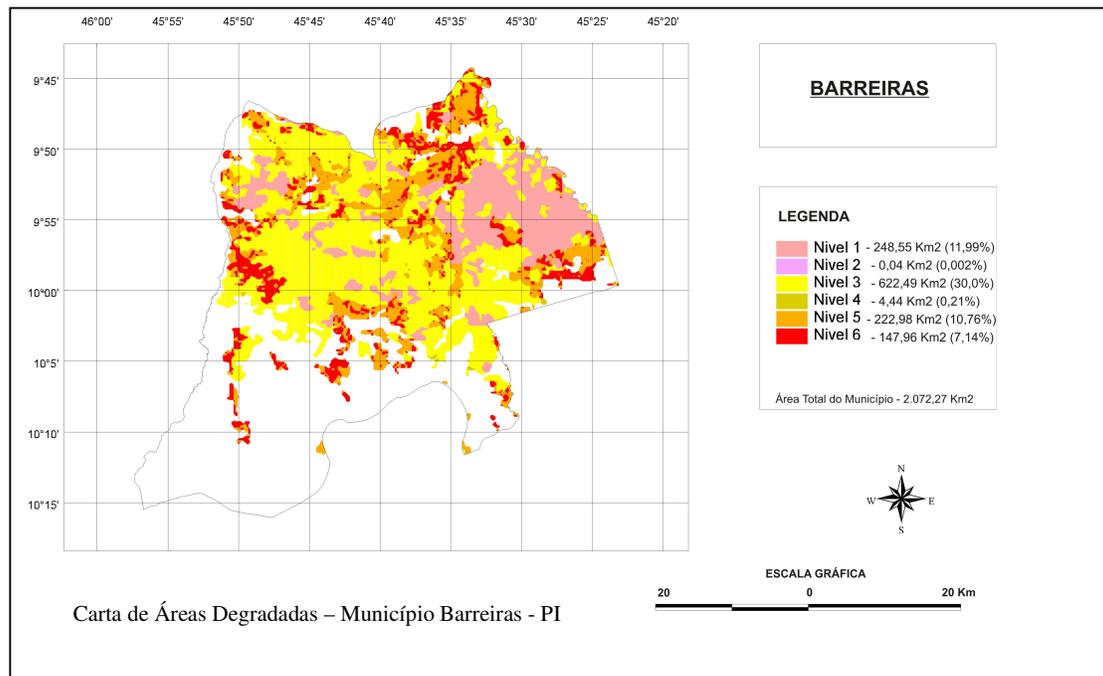
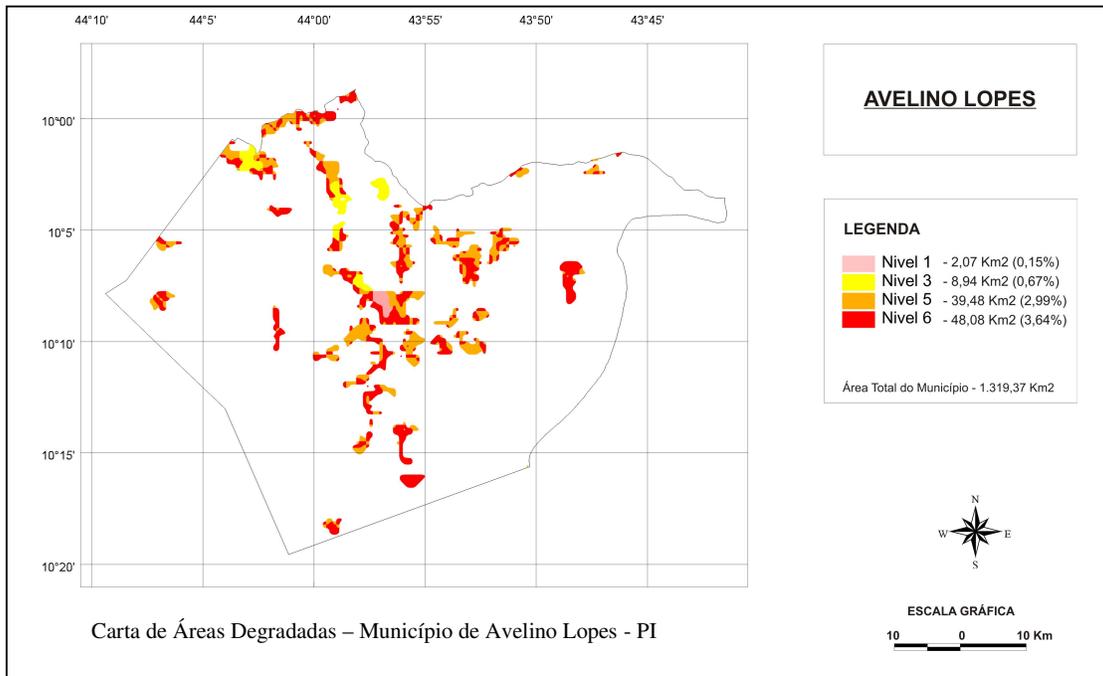
SALES, M. C. L. Degradação ambiental em Gilbués, Piauí. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, v. 2, n. 4, 2003.

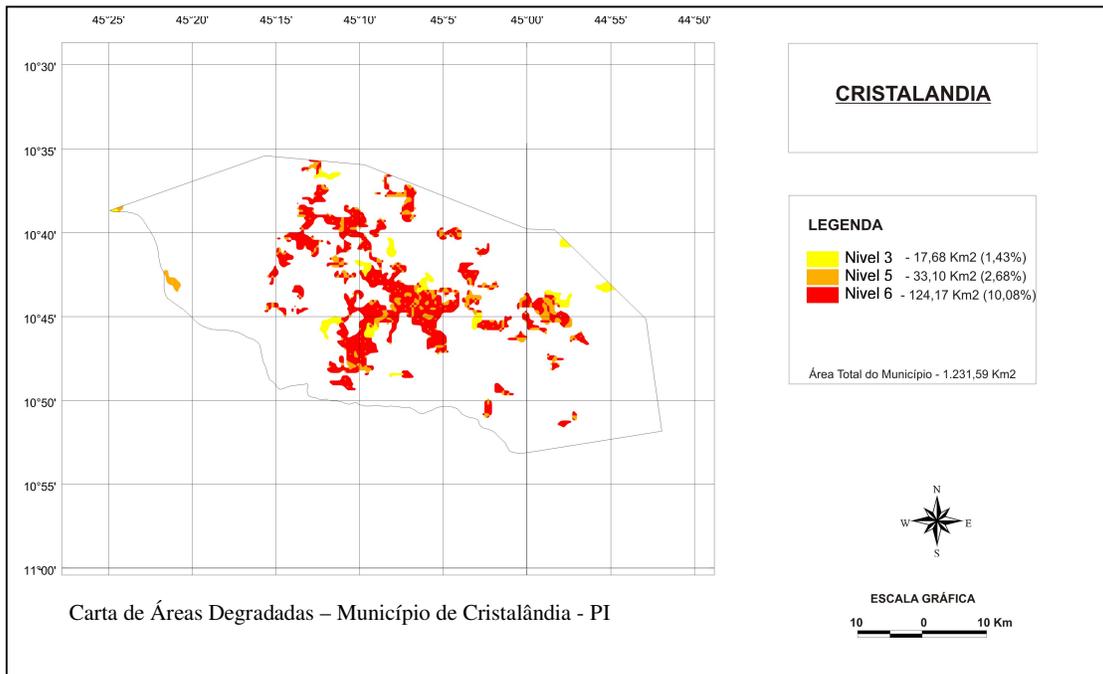
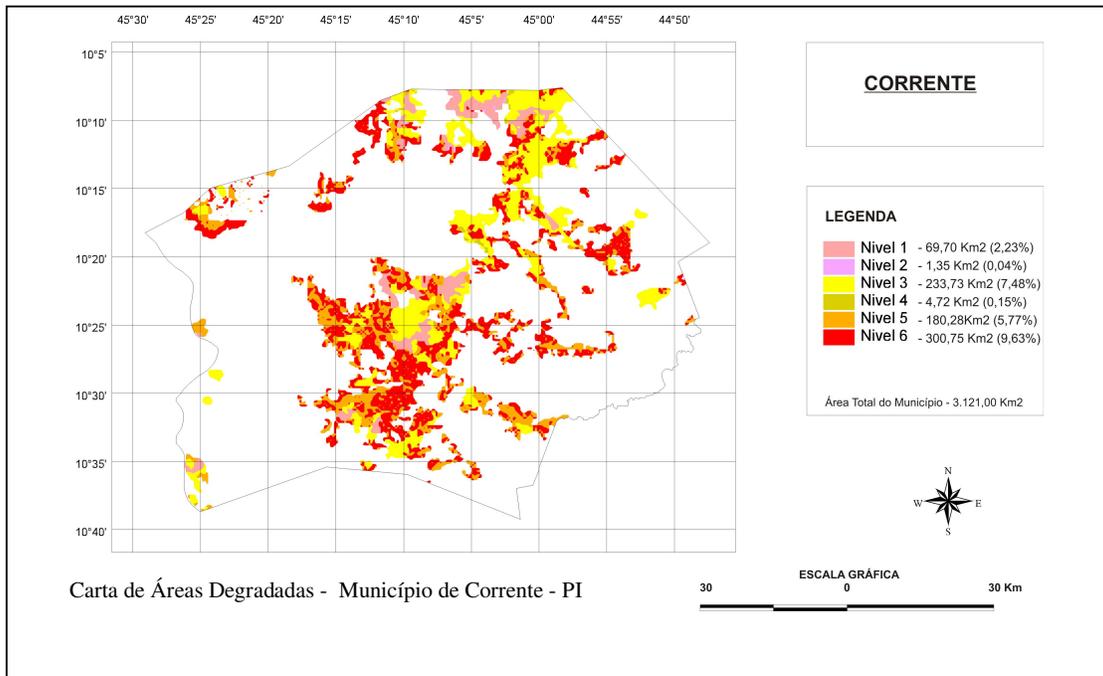
SCHOWENGERDT, R.A. *Models and methods for image processing*. 2. ed. 1997, 522p. United States Department of Survey (USGS). Landsat 4-5 TM band designations. 2003. Disponível em: <edc.usgs.gov/products/satellite/ band.html>. Acesso em: 23 out. 2003.

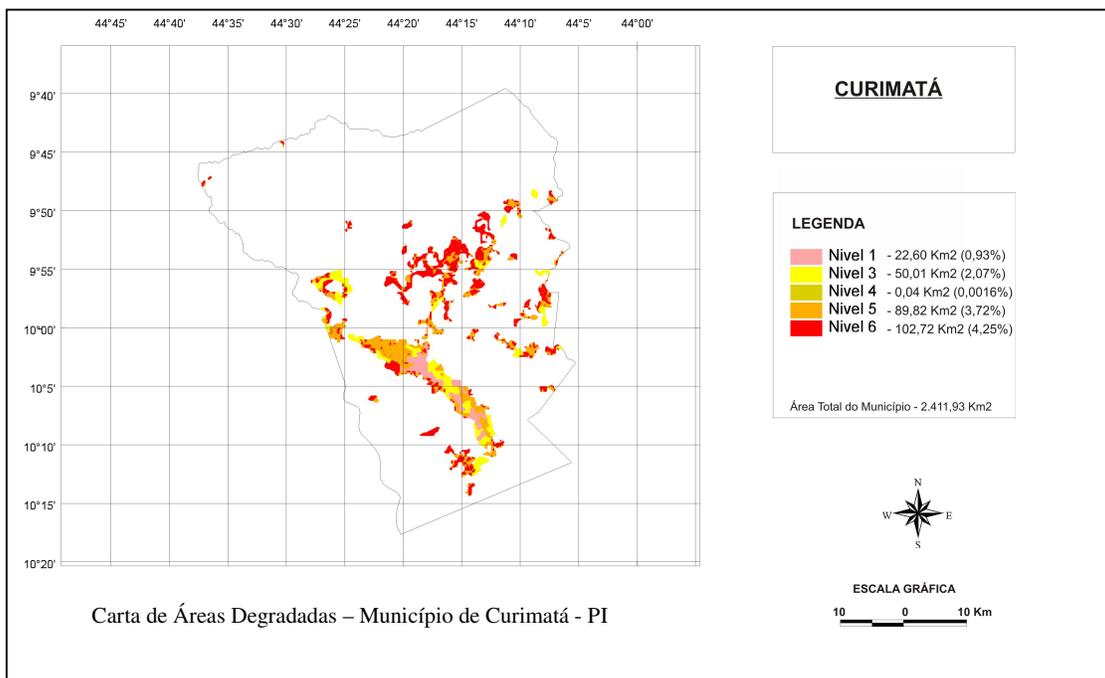
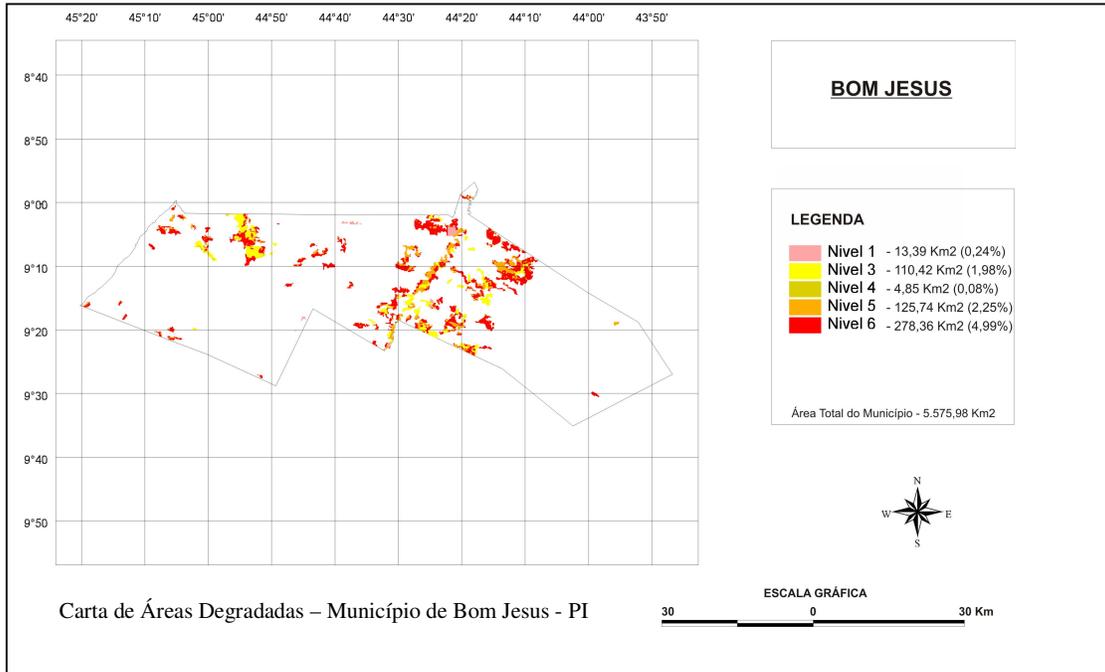
UNEP. *World Atlas of Desertification*. London, Arnold, 1992.

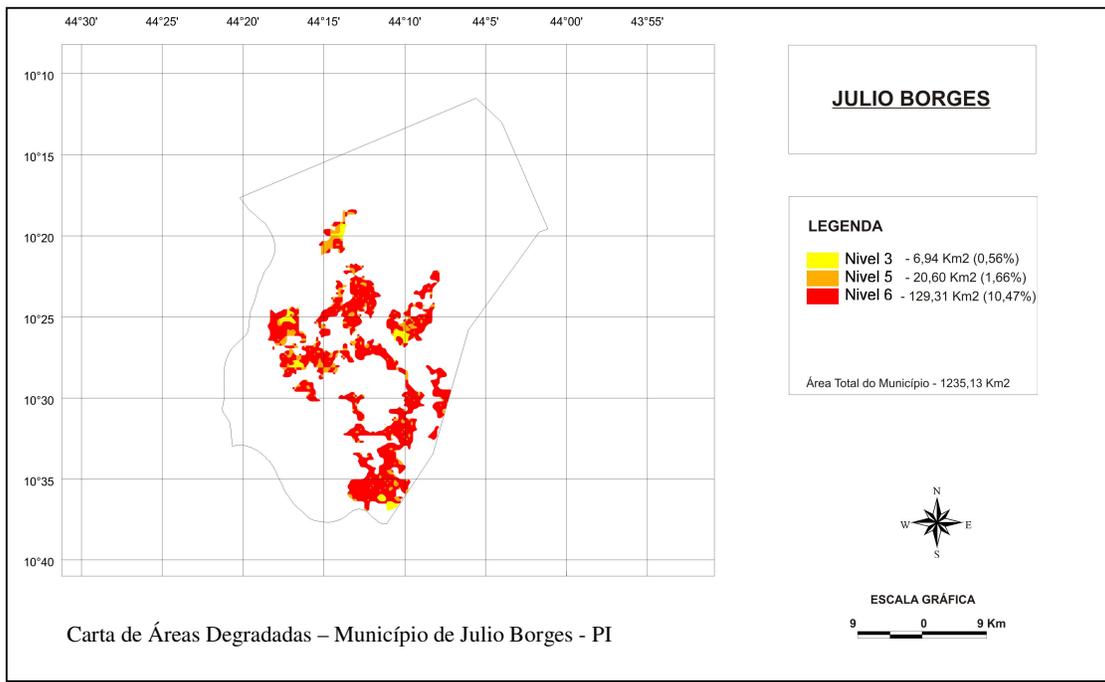
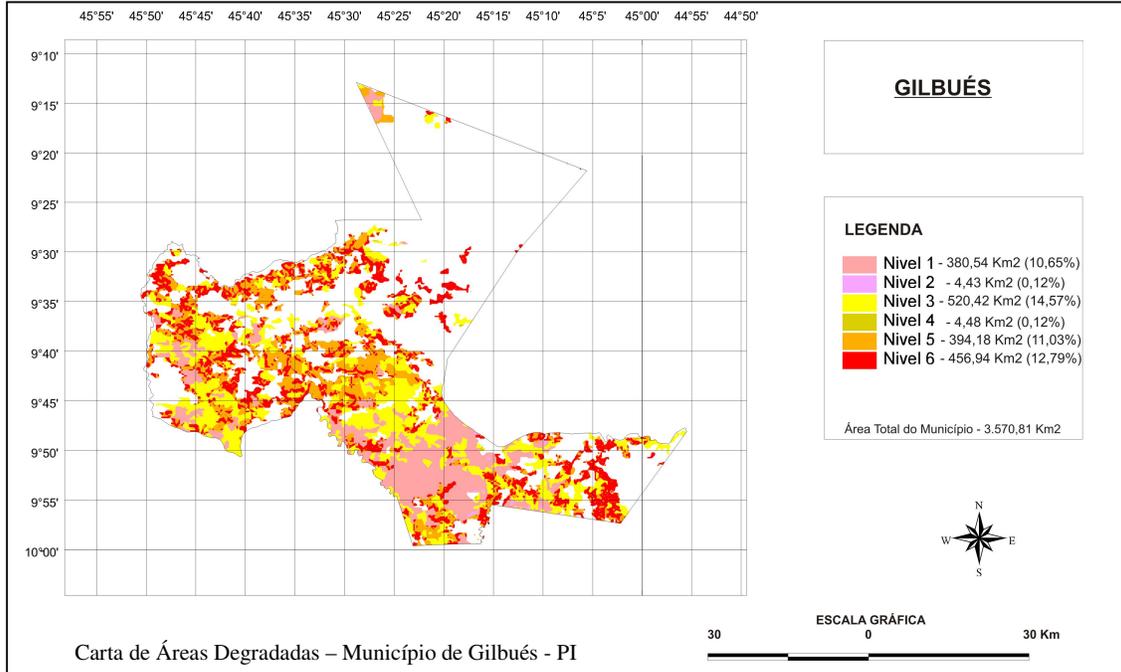
"United Nations Convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa." United Nations Secretariat for the Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany 2001. <http://www.unccd.org>.

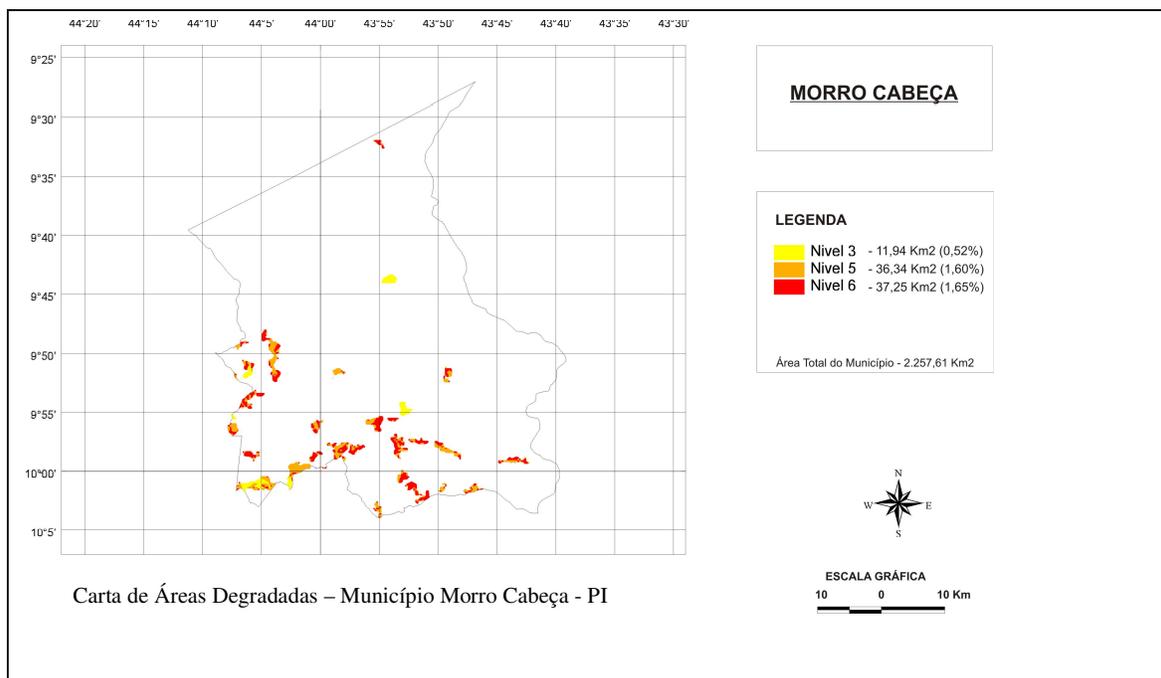
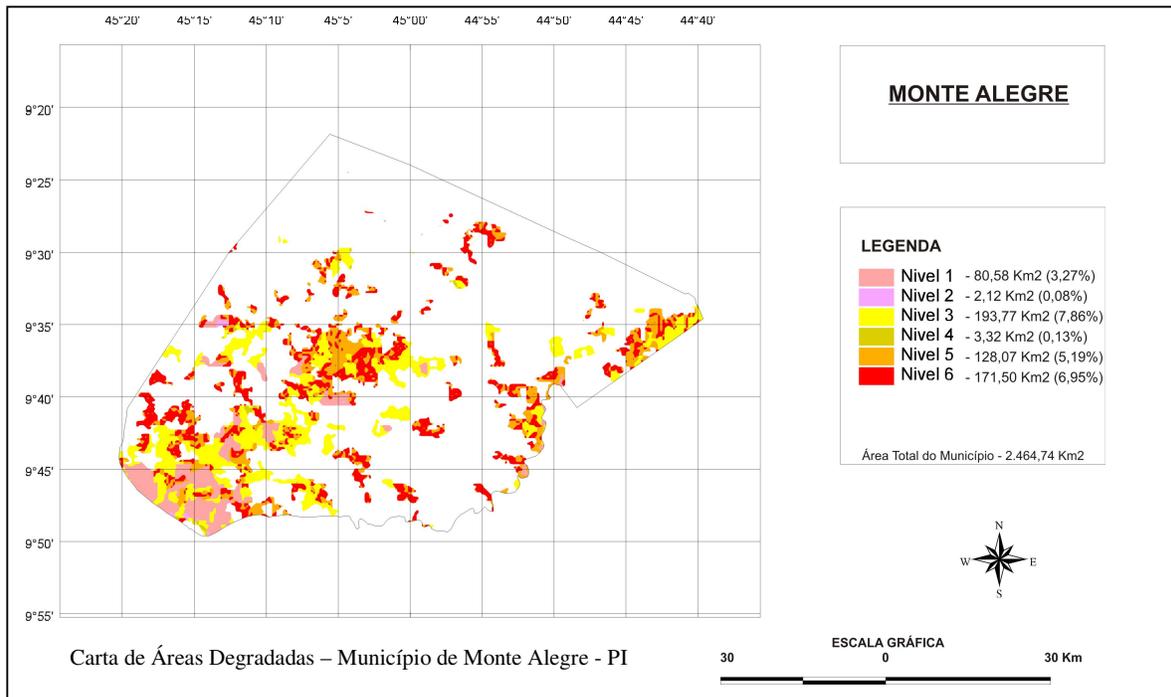
## **ANEXOS**

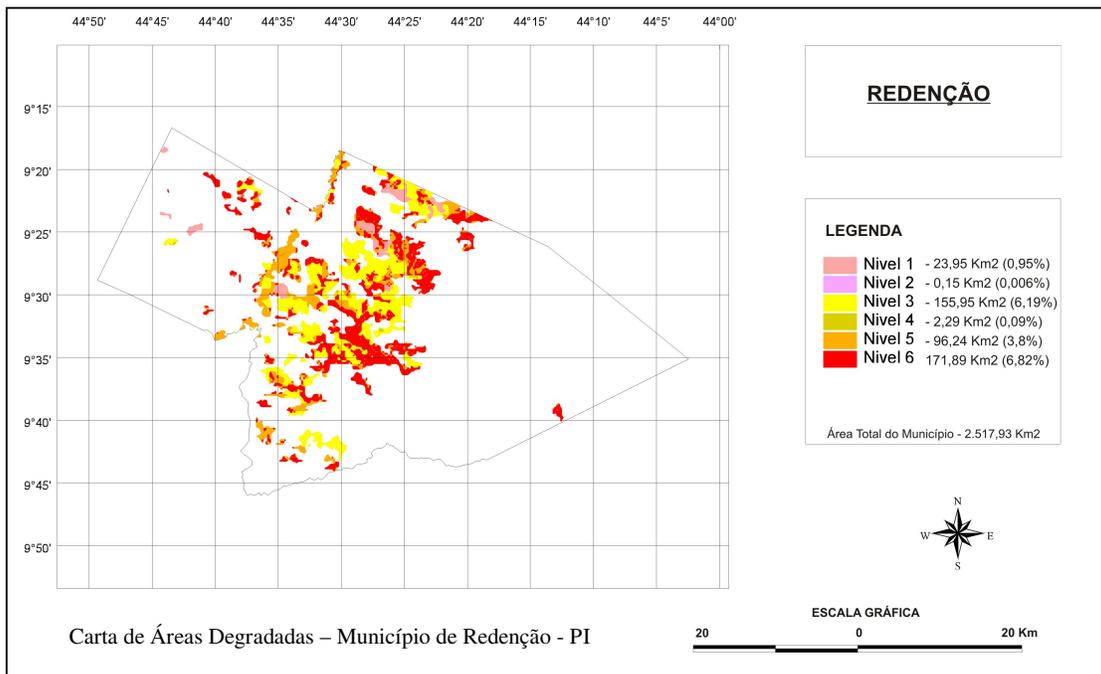
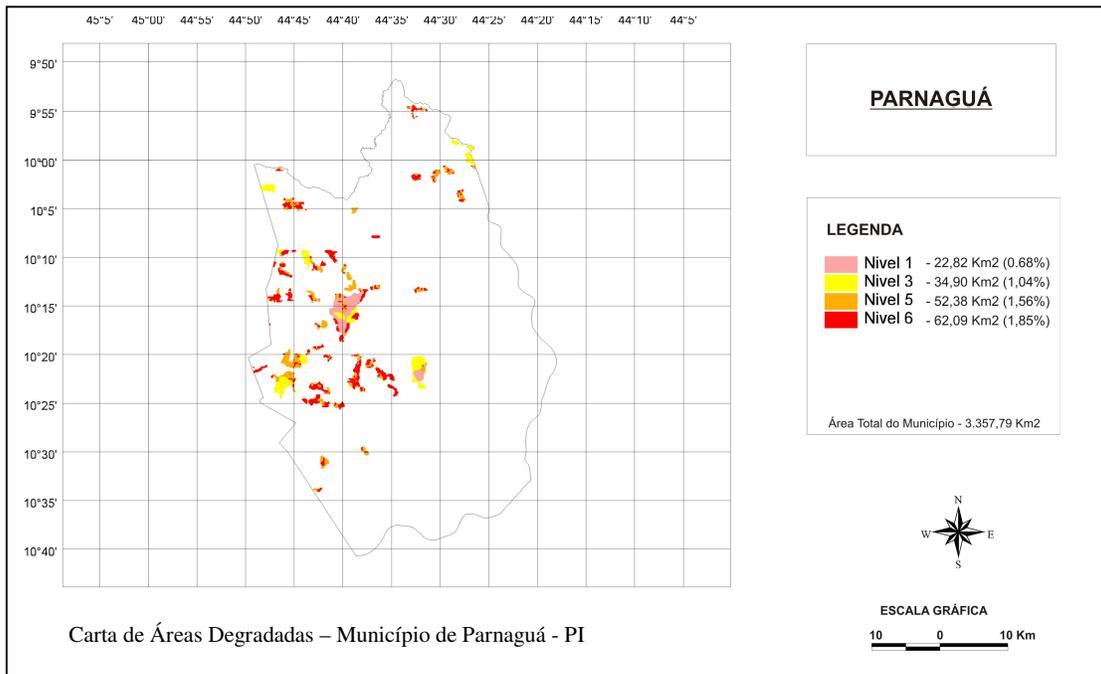


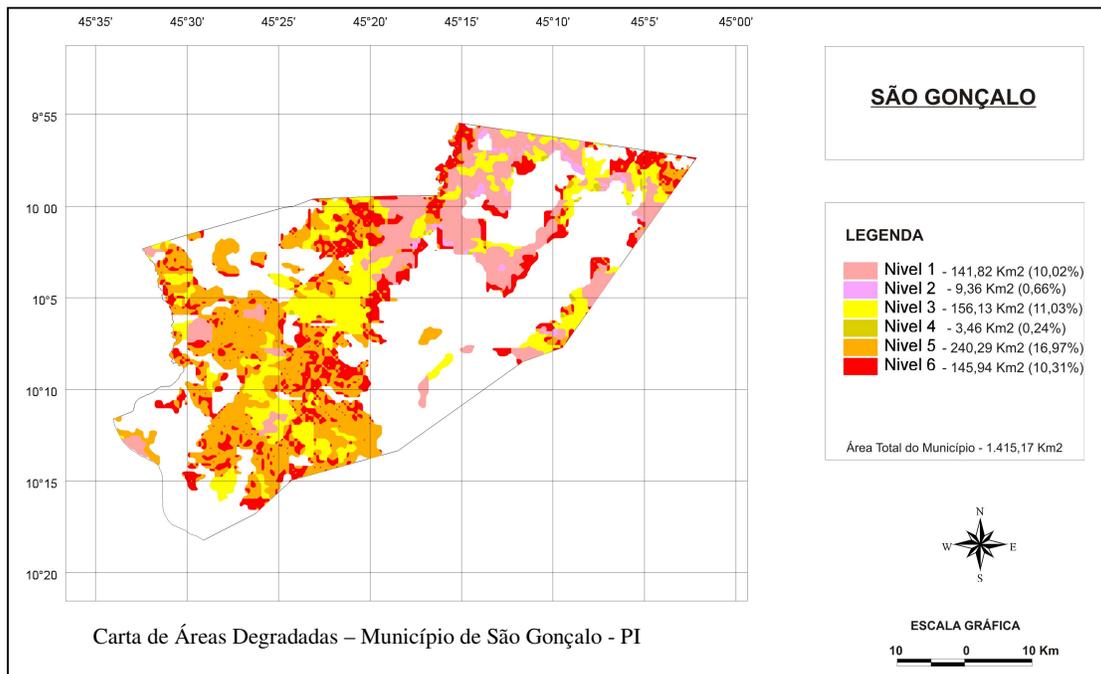
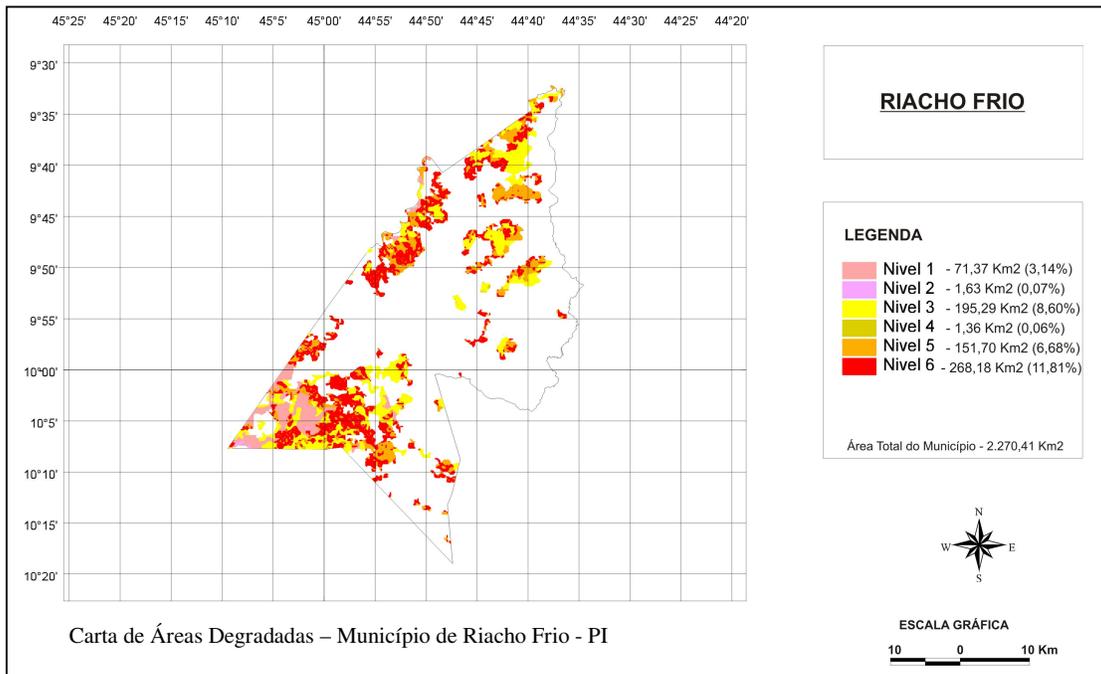


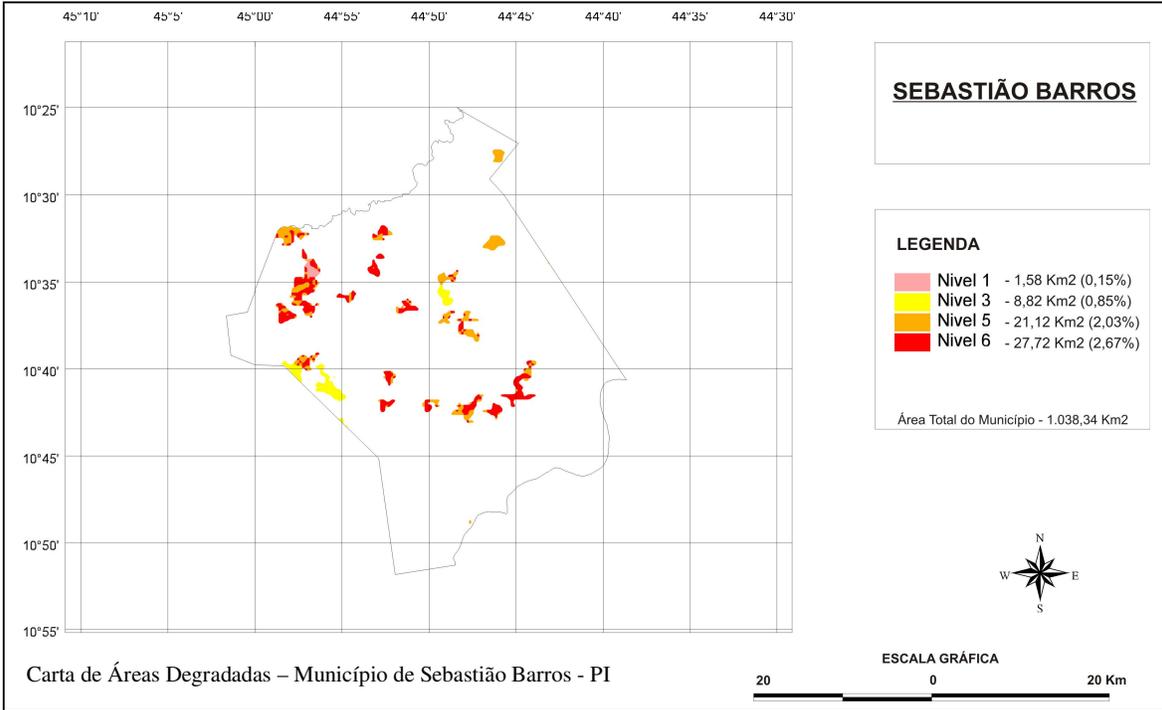












# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)