



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL

**ANÁLISE DO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM POMBAL-PB
UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO**

Lucivânia Rangel de Araújo Medeiros

POMBAL – PB
2013

LUCIVÂNIA RANGEL DE ARAÚJO MEDEIROS

**ANÁLISE DO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM POMBAL-PB
UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção de diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Dr. Valéria Peixoto Borges
Co-orientadora: Érica Cristine M. N. Machado

POMBAL – PB
2013

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS POMBAL/CCTA/UFCG**

M488a Medeiros, Lucivânia Rangel de Araújo.

Análise do processo de degradação ambiental em Pombal-PB
utilizando sensoriamento remoto / Lucivânia Rangel de Araújo
Medeiros. Pombal: UFCG/CCTA, 2013.

41 f.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Valéria Peixoto Borges.

Coorientador: Prof.^a Dr.^a Érica Cristine M. N. Machado.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – UFCG/
CCTA/UACTA.

1. Degradação. 2. Albedo. 3. NDVI.

I. Borges, Valéria Peixoto. II. Machado, Érica Cristine M. N. III. Título

UFCG/CCTA

CDU 504.123(813.3)(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR - CCTA
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL - UACTA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**ANÁLISE DO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM POMBAL-PB
UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO**

Lucivânia Rangel de Araújo Medeiros

Aprovado em: 18 de fevereiro de 2013

BANCA EXAMINADORA

Valéria Peixoto Borges

Prof^ª. Dr^ª. Valéria Peixoto Borges – UAGRA/CCTA/UFCG

Orientadora

Érica Cristine Medeiros Nobre Machado

Prof^ª. Dr^ª. Érica Cristine Medeiros Nobre Machado - UACTA/CCTA/UFCG

Coorientadora

Marcos Eric Barbosa Brito

Prof. Dr. Marcos Eric Barbosa Brito – UAGRA/CCTA/UFCG

Examinador Interno

John Elton de Brito Leite Cunha

Prof. Me. John Elton de Brito Leite Cunha – UATEC/CDSA/UFCG

Examinador Externo

Pombal, Paraíba, 2013.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Francisco Medeiros de Araújo (in memorian) e Olacir de Araújo Rangel, pelo amor incondicional, dedicação e paciência ao longo de todos esses anos.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora de Sant'Ana, pelo dom da vida, sabedoria, força, conquista e realização deste sonho.

Aos meus pais, Francisco Medeiros de Araújo (*in memorian*) e Olacir de Araújo Rangel, que são minha base e o sentido da minha vida, que fizeram e fazem o possível e o impossível para realização dos meus objetivos.

A vovó, Alaíde Rangel Clemente, pelo amor, dedicação e apoio sempre oferecidos.

A todos os meus familiares, em especial, tio Josivan, minhas primas Teresa, Ana Clara e Ywanny e meu príncipe, Pedro Lucas.

Ao meu namorado, Brenno Arruda Pereira de Assis, pela paciência, companheirismo e amor ao longo desses cinco anos.

A minha família de coração, Edmundo Neto (*in memorian*), Verônica Maria, Edmundo e Ana Carla, pelo apoio e carinho sempre ofertados.

Agradeço a professora Valéria Borges, pelos ensinamentos, apoio e amizade.

A professora Érica Cristine, pela contribuição na minha monografia, disponibilidade e amizade.

A professora Juliana Moreira, por ter colaborado com a minha formação e por sua amizade verdadeira.

Ao professor Ricardo Schmidt Filho, pelos seus ensinamentos e preocupação com minha formação.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental: Alexandre Paiva, Andréa Brandão, André Sobral, André Luís (*In memorian*), Camilo Farias, Helber Rangel, José Cleidimário, José Roberto, Luís Gustavo, Manoel Moises, Ricélia Maria, Roberto Miranda, Rômulo Gil, Valmir Marques e Virgínia Nogueira.

Ao colega Jucie Almeida pelos ensinamentos oferecidos e amizade.

A todos meus amigos, em especial, Ana Amélia Maia (*In memorian*), Kaliane Maia, Dândara Dantas, Giselle Larice e todos os colegas da turma de Engenharia Ambiental 2008.01.

As meninas do AP 301, Rafaela Alves, Elaine Cristina e Danielle Gomes, por sempre me receberem tão bem e pelos momentos de felicidades que me proporcionaram.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 01- Carta Mundial das Áreas Susceptíveis à Desertificação. | 7 |
| Figura 02- Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASD) no Brasil. | 9 |
| Figura 03- Localização de Pombal em relação ao estado da Paraíba | 16 |
| Figura 04: Mapa do albedo do município de Pombal- PB para o ano de 1985. | 23 |
| Figura 05- Mapa do albedo do município de Pombal- PB para o ano de 1995. | 24 |
| Figura 06: Mapa do albedo do município de Pombal- PB para o ano de 2006. | 25 |
| Figura 07: Mapa do albedo do município de Pombal- PB para o ano de 2009. | 27 |
| Figura 08: Mapa do NDVI do município de Pombal- PB para o ano de 1985. | 29 |
| Figura 09: Mapa do NDVI do município de Pombal- PB para o ano de 1995. | 30 |
| Figura 10: Mapa do NDVI do município de Pombal- PB para o ano de 2006. | 31 |
| Figura 11: Mapa do NDVI do município de Pombal- PB para o ano de 2009. | 33 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 01-** Bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera. 18
- Tabela 02-** Coeficientes de ponderação para o cálculo do albedo no topo da atmosfera, para o sensor TM - Landsat5 20
- Tabela 03-** Dados pluviométricos do Município de Coremas (1985) e Pombal(1995,2006 e 2009), Paraíba. 22

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| LISTA DE FIGURAS | I |
| LISTA DE TABELAS | li |
| RESUMO | lv |
| ABSTRACT | v |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 2.1 HISTÓRICO DA DESERTIFICAÇÃO | 4 |
| 2.2 DESERTIFICAÇÃO: PANORAMA MUNDIAL E NO BRASIL | 6 |
| 2.2.1 Mundial | 6 |
| 2.2.2 Brasil | 8 |
| 2.3 O BIOMA DA CAATINGA E A DESERTIFICAÇÃO | 10 |
| 2.4 APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA DESERTIFICAÇÃO | 11 |
| 2.4.1 O Albedo da superfície e sua relação com áreas degradadas | 13 |
| 2.4.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) | 14 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 16 |
| 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 16 |
| 3.2 IMAGENS DE SATÉLITE | 17 |
| 3.3 OBTENÇÃO E APLICAÇÃO DO ALBEDO E DO NDVI | 18 |
| 3.4. ANÁLISE DO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO | 20 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 21 |
| 5. CONCLUSÕES | 35 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 36 |

RESUMO

No Estado da Paraíba, dois terços da área total do Estado correspondem ao ecossistema Caatinga, bioma que é frágil e vulnerável à desertificação. Um instrumento que tem sido amplamente utilizado para fazer o levantamento e reconhecimento de áreas em processo de desertificação é o sensoriamento remoto. O objetivo do presente trabalho foi analisar e mapear a evolução do processo de degradação do município de Pombal entre os anos de 1985, 1995, 2006 e 2009 por meio do estudo do NDVI e do Albedo. Foram adquiridas 4 imagens TM - Landsat 5, correspondentes ao período de estiagem do nordeste paraibano: 18 de novembro de 1985 (dia do ano - DDA 322), 11 de setembro de 1995 (DDA 254), 25 de setembro de 2006 (DDA 268) e 03 de novembro de 2009 (DDA 307). Houve redução da cobertura vegetal mais densa e um aumento no solo exposto e da vegetação caatinga rala, principalmente nos locais próximos ao rio Piancó. Em boa parte do município, os valores de albedo aumentaram com o decorrer dos anos, enquanto que os valores de NDVI diminuíram, evidenciando além da expansão urbana, o crescimento da degradação da vegetação natural e o aumento de áreas de solo exposto, fenômenos inerentes ao processo de desertificação. Assim, concluiu-se que o NDVI e o albedo são índices interessantes na avaliação da mudança da superfície do município e os resultados gerados podem ser amplamente aplicados em ações para preservação e recuperação do bioma caatinga no município de Pombal.

Palavras-chave: Degradação, Albedo, NDVI.

ABSTRACT

In the state of Paraíba, two-thirds of the total area correspond to the Caatinga ecosystem, a fragile and vulnerable biome. An instrument that has been widely used to survey and reconnaissance of areas undergoing desertification is the remote sensing. The objective of this study was to analyze and map the progress of degradation in the city of Pombal-PB through the years of 1985, 1995, 2006 and 2009, by the study of NDVI and Albedo. Four TM – Landsat 5 images were acquired, corresponding to the period of drought at research region: November 18, 1985 (day of the year - DOY 322), September 11, 1995 (DOY 254), September 25, 2006 (DOY 268) and November 3, 2009 (DOY 307). There was a reduction in denser canopy and increasing of bare soil and sparse scrub vegetation, especially in places near the river Piancó. In much of the municipality, the albedo values increased with the years, while the NDVI values decreased, what shows the urban sprawl, the growing of degradation of natural vegetation and increased areas of exposed soil, phenomena inherent to the process of desertification. Thus, it was concluded that the albedo and NDVI indices were effective in assessing the changing surface and the results can be widely applied in actions for preservation and restoration of Caatinga biome in the municipality of Pombal.

Keywords: Degradation, Albedo, NDVI.

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente oferece todos os recursos utilizados nas atividades humanas, sendo de vital importância para a manutenção da vida. Nas últimas décadas a literatura acadêmica e mesmo os noticiários vêm destacando a celeridade do processo de degradação do meio ambiente, o que é, sem dúvida, uma informação alarmante e negativa para todas as espécies do planeta. (MAY; LUSTOSA, 2003).

Dentre os impactos causados pela ação humana merece destaque a degradação das terras, visto que deste recurso natural derivam diversas atividades econômicas, em especial as atividades agropecuárias, que tem importância central na ocupação, geração de renda e sustento da população (LIMA, 2005).

Um grave problema ambiental, amplamente discutido nos últimos anos é a desertificação, que pode ser definida através do capítulo 12 da agenda 21 do *United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)*, como: “a degradação de terras em áreas áridas, semi-áridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo variações e atividades humanas”. A degradação da terra corresponde à degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e da biodiversidade. A degradação está ligada diretamente à redução da qualidade de vida das populações afetadas pelo conjunto combinado desses fatores (PAN-Brasil, 2004).

Este processo, geralmente lento, reduz pouco a pouco a capacidade de sobrevivência de uma comunidade, visto que destrói a base dos recursos naturais necessários para a manutenção das condições de vida humana. A desertificação tem como causas tanto a ação do homem sobre o seu ambiente como os fenômenos de origem natural. Estas mudanças naturais são características do processo evolutivo do planeta (PAN-Brasil, 2004).

É fundamental saber que o modelo de desenvolvimento empregado desde o começo da exploração dos recursos naturais adotado pelo homem ao longo de várias décadas tem contribuído para o estabelecimento dos processos de desertificação e determinando a velocidade de sua ocorrência (PAN-Brasil, 2004).

A desertificação no estado da Paraíba apresenta-se de diferentes formas e estágios. Dentre os que deixam o solo desprotegido destacam-se: as práticas de

mineração e o superpastejo de diversos animais que expõem o solo aos fatores de erosão, as formas de irrigação inadequadas que provocam a salinização do solo e o não uso de práticas conservacionistas (PAE-PB, 2011).

Um instrumento que tem sido amplamente utilizado para fazer o levantamento e reconhecimento de áreas em processo de desertificação é o sensoriamento remoto. Essa tecnologia permite a realização de levantamentos da superfície a custos relativamente baixos, comparado a outras tecnologias, apresentando uma relevante importância em consequência do seu enfoque espacial, intrínseco e multitemporal, podendo suprir em longo prazo e longa escala observações necessárias para detectar os processos de degradação ambiental. (LOPES, et al. , 2005).

O sensoriamento remoto nos auxilia a entender a situação da área estudada, identificando antecipadamente a tendência de desenvolvimento do fenômeno da desertificação através do monitoramento de vários parâmetros de superfície, sobretudo nos fornece dados para pesquisa sobre mecanismos internos, processos atuais e diferenças no tempo e no espaço do processo em questão (SUN WU, 2000; LOPES, et al. , 2005).

As técnicas de sensoriamento remoto com imagens de satélite, por não serem métodos invasivos, possibilitam a avaliação de parâmetros biofísicos da vegetação, como por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Este indicador é utilizado para destacar a vegetação ocorrente em uma superfície, permitindo analisar áreas que apresentem níveis baixos ou ausentes de cobertura vegetal, desta forma, auxiliando a identificar áreas em processo de desertificação (SILVA, 2009; BORGES et al., 2010).

Outro parâmetro importante em estudos ambientais e nas mudanças climáticas é o albedo. O estudo da reflectância da superfície possibilita a avaliação da exposição do solo, contribuindo para a análise do processo de desertificação. O albedo é componente importante na determinação do saldo de radiação à superfície, que é o saldo de energia destinado ao aquecimento do solo, do ar, e pela evapotranspiração da vegetação e das culturas (SILVA et al. 2005; SILVA, 2009).

O estudo em questão será realizado no estado da Paraíba, mais especificamente no município de Pombal, que está inserido na mesorregião do Sertão Paraibano microrregião de Sousa. O município apresenta um clima Tropical

Semiárido, a vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila. A área de estudo foi selecionada em consequência das suas características climáticas e fisiográficas, citada anteriormente, serem bastante propícias à degradação de terras, além do emprego do manejo inadequado dos recursos naturais, realizado pela população (PAE-PB, 2011).

A pesquisa irá contribuir como base científica para novos projetos, tendo em vista a escassez de referências bibliográficas nessa temática na região de estudo, tanto em termos de quantificação da área degradada atual como a avaliação do processo ao longo das últimas duas décadas.

As informações produzidas nessa pesquisa proporcionarão um suporte para a tomada de decisões, tais como medidas de prevenção e recuperação das terras em processo de desertificação. Desta forma, a avaliação de áreas afetadas pelo processo de desertificação, através do sensoriamento remoto é de significativa relevância, tendo em vista que a delimitação da área desertificada permite que sejam desenvolvidos planos de ação para combater o problema, e evitando que mais áreas sejam dominadas pelo processo.

Portanto, esta pesquisa teve como objetivo principal analisar e mapear a evolução do processo de degradação no município de Pombal entre os anos de 1985, 1995, 2006 e 2009 por meio do estudo do NDVI e do Albedo no referido período, gerados a partir de imagens TM – Landsat 5. O estudo em questão proporcionou a relação da evolução do processo de desertificação com o parâmetro biofísico (NDVI) e físico (Albedo), além disso, identificando as principais áreas dentro do município que estão com os maiores níveis de degradação e aquelas que devem ser preservadas ou recuperadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DA DESERTIFICAÇÃO

O tema desertificação é relativamente novo, há quatro séculos a.C., Platão, já observava o desaparecimento de bosques, inundações e perda de solo pela ação das águas na Grécia antiga e apontava as atividades humanas pela degradação na zona mediterrânea (LOPEZ-BERMUDEZ, 2011).

No século XVIII, os europeus discutiram e difundiram os conhecimentos iniciais sobre o processo de desertificação. Os impactos ocasionados por diversas civilizações no Velho Mundo ajudaram a desenvolver a antiga alusão relacionada ao processo de desertificação, na época denominava-se como “teoria do dessecamento”, cuja autoria era desconhecida. A teoria referida tinha como princípio que a vegetação e o índice pluviométrico teriam que estar em direta harmonia. Assim, a destruição das matas, através de queimadas e de outras ações inconsequentes do homem, causaria a redução das chuvas (PADUA, 2002).

A questão da desertificação passou a surgir no ano de 1930, em consequência dos três anos de seca no Meio Oeste Americano, este fenômeno ficou conhecido como *Dust Bowl*. A seca associada a uma intensa degradação dos solos deu início a estudos e pesquisas intensas sobre o processo de desertificação, ou seja, a formação de desertos em áreas de clima semi-árido (LIMA, 2005).

Em 1960, no Sahel Africano, região que se localiza abaixo do deserto do Sahara, passou por uma forte seca, resultando na morte de 200.000 pessoas e de milhões de animais. Este processo se deu em virtude do desenvolvimento e da exploração colonial de forma inadequada, sem nenhuma sensibilidade com os recursos naturais. Com o ocorrido, a população passou a ter consciência de que o crescimento econômico estava se dando pela destruição dos recursos naturais, resultando em má qualidade de vida (PAN-Brasil, 2004; LIMA, 2005).

Com a tragédia ocorrida em Sahel, a comunidade internacional, no início dos anos de 1970, estabeleceu um programa mundial de ação para combater a desertificação, reconhecendo o impacto econômico, social e ambiental que a seca proporciona, convocando uma Conferência Internacional sobre o Meio Ambiente Humano (LIMA, 2005).

No Brasil, os processos de desertificação nas regiões semiáridas foram identificados nos anos de 1970, através do estudo realizado pelo ecólogo pernambucano João Vasconcelos Sobrinho. A partir deste período a literatura sobre o tema vem crescendo com a incorporação de novas metodologias e abordagens para o tema (PAN-Brasil, 2004).

Em 1972, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Homem e o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo. Nela foram destacadas as contradições ligadas ao desenvolvimento e ao meio ambiente, incluindo a catástrofe africana e os diversos problemas que a desertificação ocasiona. Na Conferência de Estocolmo estabeleceu-se o Dia Mundial do Meio Ambiente, na data 5 de junho e constatou-se a necessidade de um evento específico para tratar o problema da desertificação (LIMA, 2005).

No ano de 1977, em Nairóbi, Kênia, foi realizada a Conferência sobre Desertificação das Nações Unidas. Neste encontro a desertificação passou a ser considerada o primeiro problema ambiental de caráter global. Nesta ocasião foi desenvolvido um mapa identificando onde o processo de desertificação poderia ocorrer, ficando esclarecido que este processo no Brasil não se limitava ao Semiárido Nordeste, mas também parte de outros estados. Esta Conferência foi de grande importância para a luta contra a desertificação no mundo, mostrando que os problemas de pobreza e meio ambiente necessitavam de um enfrentamento direto pela comunidade internacional (PAN-Brasil, 2004).

Em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, foi realizado a Cúpula Mundial da Terra, conhecida como RIO 92 ou Eco-92. A conferência tinha como discussão o meio ambiente e foi realizada pela ONU. Acertou-se que os países fariam uma convenção internacional sobre desertificação durante a conferência. Foi também evidenciado o fracasso dos programas internacionais de combate à desertificação e a necessidade de uma Convenção à Desertificação, visando maior comprometimento das nações, particularmente dos países ricos (LIMA, 2005).

A Convenção Internacional de Combate à Desertificação foi iniciada em janeiro de 1993 e concluída em 17 de junho de 1994, esta data transformando-se no Dia Mundial de Luta Contra a Desertificação. A Convenção já está em vigor desde 26 de dezembro de 1996 e foi assinada por mais de 190 países. O Congresso Nacional brasileiro aprovou a Convenção no dia 12 de junho de 1997 (LIMA, 2005).

Por fim, a desertificação ultrapassou os limites do ambientalismo passando a ser uma preocupação social e econômica tanto dos países desenvolvidos quanto dos países em desenvolvimento, já que este fenômeno traz consigo consequências drásticas a nível mundial.

2.2 DESERTIFICAÇÃO: PANORAMA MUNDIAL E NO BRASIL

2.2.1 Mundial

As regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas representam cerca de 51.720.000 km², ou seja, 33% da superfície terrestre. Tendo em vista 42% da população vivem nela, é necessário que se dê uma maior atenção ao processo de desertificação, com foco, principalmente nas formas de evitar e mitigar os seus efeitos. O processo em questão vem sendo acelerado a cada ano. Estima-se que 24 bilhões de toneladas da camada arável do solo sejam perdidas por ano, afetando de forma negativa a produção agrícola e o desenvolvimento sustentável das regiões impactadas (MATALLO, 2001; PAN-Brasil, 2004).

Quanto mais seca a região mais susceptível é o local à desertificação. O índice de aridez é um fator climático que pode identificar as Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD), embora este critério, apenas, não seja suficiente para identificar as áreas de riscos. Esta susceptibilidade pode variar de muito alta até moderada, as áreas que estão dentro desse índice de aridez são conhecidas como “terras secas” (MATALLO & SCHENKEL, 1999).

As ASD podem ser indicadas através de fatores climáticos e dos fatores relacionados com as ações realizadas nas atividades humanas em relação ao uso dos recursos naturais e da associação da alta susceptibilidade com os fatores humanos de ocupação, podendo ser exemplificada pela forma de manejo que é dada ao solo, densidade demográfica, entre outras (MATALLO & SCHENKEL, 1999).

O grau de aridez de uma região depende da precipitação pluviométrica (P) e da evapotranspiração potencial (ETP), esta metodologia foi estabelecida por C. W. Thornthwaite (1941), a aceitação da definição de aridez foi realizada em 1977 para a aplicação do plano de ação de combate à desertificação das nações unidas, sendo

ajustada por Penam (1953), com o objetivo de se elaborar a classificação que é aceita hoje para os diferentes climas do planeta. O índice de aridez classifica o clima como: Hiperárido < 0,05; Árido: 0,05-0,20; Semi- Árido: 0,21-0,50; Subúmido Seco: 0,51-0,65; Subúmido e Úmido > 065 (MATALLO & SCHENKEL, 1999).

Com a definição do índice de aridez foi realizado um mapeamento preliminar (Figura 01) de toda a superfície terrestre, para identificar as áreas que poderiam se submeter ao fenômeno da desertificação.

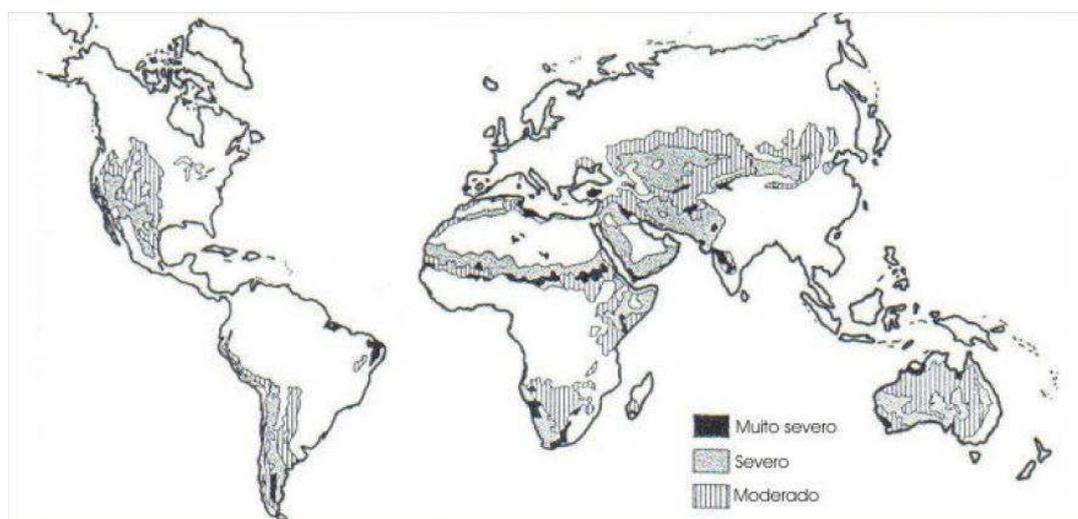


Figura 01- Carta Mundial das Áreas Susceptíveis à Desertificação. Fonte: Adaptado de Mainguet, 1995 *apud* PAE- PB, 2011.

A problemática desertificação abrange mais de 1 bilhão de pessoas de forma direta e indireta, sendo mais de 100 países afetados. A degradação e erosão do solo representam cerca de 1/4 da superfície terrestre. Os solos aráveis diminuíram de 0,32 hectares em 1961-1962, para 0,21 hectares em 1997-1999, espera-se que diminua para 0,16 ha em 2030 por pessoa (ROXO, 2006).

O processo de degradação e erosão são problemas que se deve ter atenção, já que é em função da sua intensificação que o fenômeno da desertificação surge. Na região subsaariana eles representam cerca de 20 a 50% das terras da região, onde residem mais de 200 milhões de pessoas. A degradação do solo é também rigorosa na Ásia e na América Latina, assim como em outras regiões da superfície terrestre (PAE- PB, 2011).

Na América Latina, o processo de desertificação atingiu mais de 516 milhões de hectares, apresentando perda de 24 bilhões de toneladas por ano da camada arável do solo, isso significando uma redução na produção agrícola e no desenvolvimento sustentável (PAN-Brasil-2004).

2.2.2 Brasil

As ASD no Brasil localizam-se, quase que totalmente, na região Nordeste e uma pequena parte do Sudoeste, nas áreas de clima semiárido e Subúmido seco, a vegetação predominante é a caatinga e, em menores proporções o cerrado. Os estados que se enquadram na delimitação do índice de aridez são: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, e o norte de Minas Gerais, estas áreas são identificadas na Figura 02 (PAN- Brasil, 2004).

As condições climáticas, bem como a utilização do solo pelo homem de forma inadequada sem respeitar sua capacidade de suporte e de sustentabilidade tem sido prática frequente desde o desenvolvimento da agricultura. Conseqüentemente, o solo foi perdendo sua capacidade produtiva, com isso seu poder de resiliência, ocasionando a degradação da terra, o que contribui para agravar o processo de desertificação e seca.

Os processos de desertificação no Brasil estão relacionados principalmente a fatores de ação antrópica do que a questões climáticas. Os determinantes climáticos agem, na verdade, como potencializadores das atividades humanas. As principais causas para intensificar o processo da desertificação são a erosão principalmente a laminar, e a salinização do solo. Dentre os fatores climáticos se destacam a próprias características do bioma e do solo, a destruição dos estoques de sementes e as queimadas, sendo este o principal contribuinte para tal fato. (PAN-Brasil-2004).

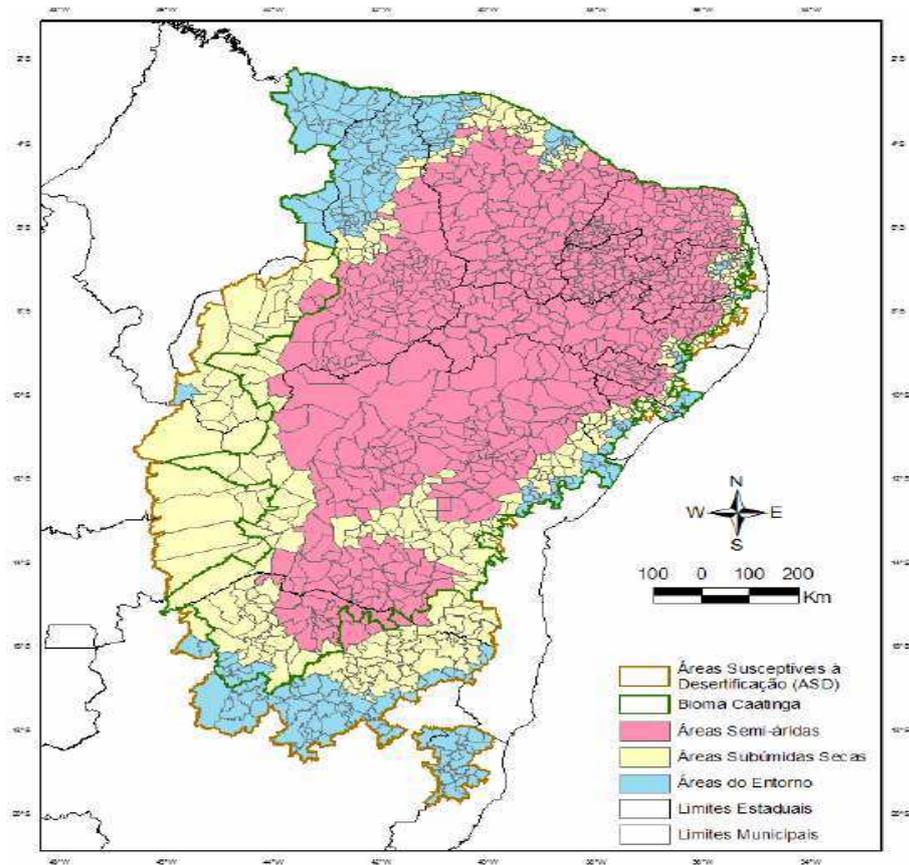


Figura 02- Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASD) no Brasil. Fonte: PAN-Brasil (2004).

A área que representa o processo de desertificação no Brasil de forma intensa atinge por volta de 98.595 km², este número representa 10% do semiárido brasileiro (PAE- PB, 2011).

Um fator importante sobre o processo de desertificação são manchas que aparecem no solo do semiárido nordestino, apresentando áreas de solos rasos, sem capacidade de retenção de água, com deficiências em matéria de nutrientes, contribuindo para intensificar o processo de desertificação. O surgimento dessas manchas foi denominado por Vasconcelos Sobrinho como núcleo de desertificação. Esses núcleos se caracterizam por se expandirem pelas áreas vizinhas e por apresentar o efeito máximo do processo de degradação ambiental. (PAN-Brasil, 2004). Os núcleos de desertificação são representados pelos municípios de Gilbués (PI), Irauçuba (CE) e Cabrobó (PE), e a região de Seridó (RN) (PAE- PB, 2011).

2.3 O BIOMA DA CAATINGA E A DESERTIFICAÇÃO

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, ocupando quase 10% do território nacional com 736.833 km². Situa-se no "Polígono das Secas", região do Nordeste brasileiro que compreende ecossistemas frágeis e vulneráveis à desertificação, principalmente devido às condições climáticas, como também às características dos solos, à exploração inadequada dos recursos naturais, e ao superpastoreio (PAE- PB, 2011).

No Estado da Paraíba, dois terços da área total do Estado correspondem ao ecossistema Caatinga, abrangendo as regiões do Sertão, Cariri, Seridó e Curimataú (TAVARES DE MELO; RODRIGUEZ, 2003; WWF-BRASIL, 2008).

Além de ser frágil e sob forte pressão das ações humanas, é o menos protegido dos biomas brasileiros. Menos de 1% de sua área está protegida em Unidades de Conservação (UC's) de uso indireto, sendo o bioma com o menor número de Unidades de Conservação de proteção integral. É também o menos estudado e conhecido e um dos mais antropizados, ultrapassado apenas pela Mata Atlântica e Cerrado (CAVALCANTE, 2007).

O estado da Paraíba possui 93,27% de seus municípios em ASD, somando um total de 208 municípios dos 223 existentes, os quais 150 estão na área semiárida, 47 em áreas subúmidas secas e 11 em áreas de entorno. Apenas 15 municípios do estado não se encontram em ASD (ALVES et al. , 2009).

Barbosa et al. (2005) apontam que 63,54% do território paraibano está em processo de desertificação moderados ou severos, o que é um dado alarmante. Os maiores níveis de degradação do estado estão localizados nas microrregiões da Mesorregião da Borborema, mais especificamente no Cariri Oriental e Ocidental e Seridó Oriental e Ocidental e em algumas outras localizadas na Mesorregião do Sertão, em especial os municípios de Patos e partes de Catolé do Rocha, Piancó, Sousa, Itaporanga e Cajazeiras. Já no Seridó Oriental e Ocidental, ou seja, no centro-norte da Paraíba o que se observa é que há uma extensão das áreas degradadas do Seridó do Estado do Rio Grande do Norte (PAE- PB, 2011).

As áreas mais degradadas, das citadas anteriormente, registram ocorrências de menor precipitação pluviométricas, ocasionando uma maior vulnerabilidade em consequência um uso mais intenso do solo. Nas microrregiões de Piancó,

Cajazeiras e Sousa, às áreas que estão com o nível mais elevado de degradação estão localizadas no vale do rio Piancó, no entorno do município de Cajazeiras e na bacia sedimentar de Sousa, possuindo áreas com características de grande enfoque no desenvolvimento da agricultura e da pecuária bovina (PAE-PB, 2011).

As principais causas desses dados é o desmatamento excessivo, a super pastagem, o uso inadequado da irrigação e, em alguns casos, as práticas de mineração, considerando-se também, a indisponibilidade de tecnologias e a falta de conhecimento de realizar o manejo adequado do solo. Outro fator limitante é a falta de terra, onde os pequenos proprietários produzem em terras que não são suas, com isso, tendo que trabalhar em condições mínimas de subsistência, resultando em um processo de utilização intensa dos recursos naturais ocasionando a degradação desses (PAE-PB, 2011).

2.4 APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA DESERTIFICAÇÃO

Lillesand e Kiefer (1987) afirmam que o sensoriamento remoto pode ser definido como "a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este". Imagens de satélites e de radar e fotografias aéreas são exemplos de produtos gerados a partir de dispositivos remotamente sensoriados.

As técnicas de sensoriamento remoto envolvem quatro elementos fundamentais: a fonte de radiação eletromagnética, a atmosfera, o alvo e o sensor.

Os diversos alvos da superfície terrestre absorvem uma quantidade característica do espectro eletromagnético, devido às diferentes propriedades bio-físico-químicas que cada um traz consigo, permitindo desta forma, uma assinatura identificável de radiação eletromagnética. Em consequência dessa característica, ou seja, do conhecimento do comprimento de onda que é absorvido por cada alvo em conjunto com a informação da intensidade de sua reflectância, é que torna-se possível analisar uma imagem de sensoriamento remoto. Desta forma, através da "assinatura espectral" de cada alvo que o sensoriamento remoto consegue distinguir os diversos materiais. (SUITS, 1983; STAR; ESTES, 1990).

Os papéis de técnicas espaciais no monitoramento e no mapeamento da desertificação têm sido examinado durante décadas por muitos pesquisadores. As imagens de satélites em conjunto com as bases de dados locais e mapas são usadas para examinar e quantificar a natureza, a tendência e o processo de desertificação em diferentes ambientes (LOPES et al. , 2005).

Essas técnicas são interessantes no estudo da desertificação pela possibilidade de oferecer uma análise em escala espacial e temporal desses processos (COSTA et al. , 2002). As informações que podem ser produzidas com base nos dados dessa tecnologia oferecem suporte para a tomada de decisões, tais como medidas de prevenção e recuperação.

A avaliação, a quantificação de risco e o monitoramento da desertificação podem ser dados a partir de parâmetros biofísicos como índices de vegetação e físicos, como albedo, dentre outros parâmetros obtidos em imagens orbitais (LOPES et al., 2005). A importância do sensoriamento remoto, como ferramenta para avaliar os processos de desertificação, fica mais evidente, quando se verifica um dos quatro indicadores recomendados pela ONU para avaliar o problema é o NDVI ,o qual se deriva de imagens de satélite (ANDRADE et al., 2007).

Uma combinação das bandas espectrais 5, 4 e 3 do sensor Landsat 5 TM, permitiu a Andrade et al. (2007) uma interpretação das áreas de redução de biomassa na caatinga, baseada nas diferentes respostas espectrais dos alvos sensorizados perceptíveis nas imagens. Os autores identificaram o estado de desertificação do município de Serra Branca, PB, destacando as áreas mais degradadas, tendo como principais causas o uso não conservacionista destes solos, destacando a atividade agrícola pecuária, associados a suas próprias limitações naturais, como a alta suscetibilidade à erosão. Já Pacheco et al. (2006), comprovaram a eficiência do sensoriamento remoto para a identificação das áreas degradadas na caatinga do semi-árido brasileiro. Carvalho (2007) avaliou o processo da desertificação no sudoeste do estado do Piauí, através de técnicas de sensoriamento remoto, adquirindo Imagens Landsat TM (*Thematic Mapper*) nos anos de 1986, 1994, 2001 e 2005 durante a estação seca e inícios da estação de chuvas, verificando as áreas mais atingidas e as condições de cobertura do solo nas mesmas.

2.4.1 O Albedo da superfície e sua relação com áreas degradadas

O albedo é consequência da razão entre a radiação refletida e a radiação incidente. O mesmo pode ser determinado para cada faixa espectral, podendo citar: global (0,3 a 3,0 μm); radiação fotossinteticamente ativa (0,4 a 0,7 μm) e infravermelha (0,7 a 3,0 μm). (Bezerra, 2004; Di Pace, 2004).

Na determinação do saldo de radiação, faz-se necessário o conhecimento do albedo, aplicando-se tais estudos na avaliação das trocas de radiação e energia da superfície, bem como no estudo da evapotranspiração. Este índice também é fundamental em pesquisas de mudanças climáticas, desertificação, entre outras alterações no meio ambiente.

O albedo da superfície varia fortemente dependendo do tipo e das condições dos materiais existentes na superfície. Pode-se obter desde valores muito baixos, como 5%, para oceanos sob condições de vento leve, a muito altos, a exemplo de 90% para neve seca e fresca (SILVA, 2009).

Em se tratando do albedo em coberturas vegetais, seu resultado irá depender diretamente da cobertura do solo e das condições fisiológicas da copa das plantas. O albedo em superfícies vegetadas com folhas de um único tipo e sem muitos espaços vazios são maiores do que as superfícies que apresentam características inversas (SILVA, 2009).

Quanto ao comportamento do albedo nos solos, Hartmann (1994) afirma que o solo seco apresenta um maior albedo de que os úmidos e uma superfície lisa têm maior albedo do que a rugosa. Este comportamento se deve ao fato da variabilidade de absorção da radiação solar pelas superfícies, a qual afeta também na temperatura dos solos (SILVA, 2009).

O estudo realizado por Robinove et al. (1981) mostrou que a redução e o aumento no albedo está ligado diretamente a presença de vegetação, ou seja, o aumento no albedo é primeiramente devido ao solo exposto e à redução da cobertura vegetal, já sua redução é consequência do aumento da umidade do solo e da densidade da vegetação.

Sob circunstâncias específicas, o aumento no albedo está relacionado com a redução da precipitação local, o que por sua vez correlaciona-se com a perda de vegetação e a intensificação do processo de desertificação. Sabe-se que a ausência

da vegetação promove a desertificação, e a desertificação impede sua regeneração (*Convention to Combat Desertification*, UN, 1998).

Nos estudos de Accioly et al. (2001), os autores verificaram o comportamento do albedo no núcleo de desertificação do Seridó através de imagens Landsat TM, constatando que o albedo aumentou em áreas ocupadas principalmente por solos Bruno Não Cálcicos, Litólicos e em áreas onde há predominância de afloramentos de rochas. Os solos Bruno Não-Cálcicos e Litólicos são reconhecidamente mais susceptíveis à erosão. Nos solos Litólicos a hipótese mais provável do aumento da erosão é a exploração da lenha em áreas que no passado eram mantidas preservadas.

Nas áreas degradadas na Bacia do Rio Brígida-PE analisadas por Lopes et al. (2005) mostraram que o aumento no albedo é devido ao solo exposto, na parte oeste da bacia, que é uma área explorada pela mineração, o albedo apresentou valores em torno de 0,32. A temperatura da bacia obteve também um aumento considerável, este resultado pode estar associado ao desmatamento que conseqüentemente irá aumentar no albedo de toda área estudada.

2.4.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Conforme Aguiar et al. (2010) a vegetação tem uma assinatura espectral específica quando comparada a maioria dos alvos terrestres, assim, vários estudos relacionados à identificação e mapeamento da vegetação têm se baseado na premissa de contraste espectral entre a reflectância da vegetação e os outros alvos da cena. A combinação entre a reflectância da vegetação nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo é denominada de Índice de Vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Através do NDVI é possível determinar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área, permitindo identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar a sua distribuição espacial, bem como a evolução de seu estado ao longo do tempo (SILVA, 2009; MELO et al., 2011).

O cálculo do NDVI com imagens TM – Landsat é gerado a partir do processamento das bandas 3 e 4. Este índice varia entre 1 e -1: quanto mais próximo o valor estiver de 1 maior será a densidade da cobertura vegetal. Para o

NDVI ser interpretado de forma correta, deve-se levar em consideração os ciclos fenológicos anuais a fim de se distinguir as oscilações naturais do estado da vegetação (MELO et al., 2011)

Para se ter um melhor entendimento de como o NDVI se comporta serão utilizados aqui alguns exemplos de alvos. A água, por exemplo, tem uma reflectância bem maior na banda 3 do que na banda 4, logo, apresenta valores negativos próximos a -1 no NDVI. A exemplo das nuvens, as mesmas refletem de forma semelhante no visível e no infravermelho próximo, portanto, espera-se que o valor do pixel seja bem próximo de zero. Já a vegetação nativa densa apresenta valores positivos e elevados, por outro lado, o solo nu sem vegetação ou com vegetação rala e esparsa apresenta valores positivos, contudo não muito elevados. (SILVA, 2009).

Com base no estudo de Mouat (1994), Kazmierczak (1998) desenvolveu sua pesquisa no sertão nordestino, cujo trabalho resultou em um algoritmo para indicar a suscetibilidade a desertificação, no qual o pesquisador verificou a eficiência do NDVI para estudos de áreas degradadas em regiões semiáridas, passando a indicar o uso desse índice para áreas com as mesmas características climáticas.

No semi-árido são realizadas inúmeras pesquisas que utilizam o NDVI como alternativa para modelar e monitorar os diversos fenômenos de degradação de terras. Isso se deve a fácil realização e interpretação do processamento desse índice, reduzindo a dimensionalidade dos dados e os efeitos de sombra e de interferência da atmosfera e do solo, os quais mascaram a resposta da vegetação (SILVA, 2009).

Na pesquisa de Melo et al. (2011) o NDVI permitiu que a comparação da cobertura vegetal atual com a cobertura vegetal pretérita em uma análise de evolução temporal fosse realizada. Eles utilizaram o NDVI para avaliar a degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos em uma cidade do sertão do ceará denominada Crateús.

Trabalhos recentes direcionadas para regiões de clima seco associam a determinação do NDVI com uso de outras ferramentas do geoprocessamento, podendo citar os estudos de: Brandão et. al (2007); Araújo et. al (2010); Bezerra et. al (2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Pombal, localizado no estado da Paraíba (06°46'13" de latitude S, 37°48'06" de longitude W, altitude média de 184m), possui uma área de 889,7 km² e está inserido na mesorregião do Sertão Paraibano na microrregião de Sousa, como pode-se conferir na Figura 03.

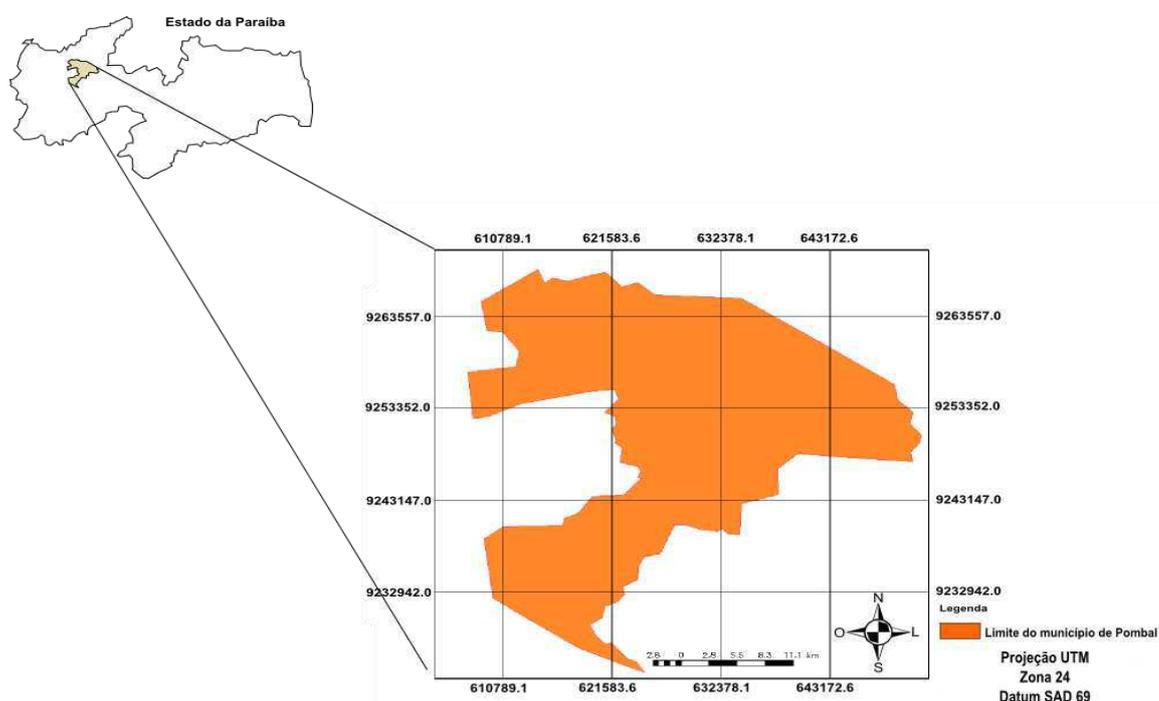


Figura 03- Localização de Pombal em relação ao estado da Paraíba

Pombal situa-se em uma unidade geoambiental de Depressão Sertaneja com superfície pediplanada, com relevo predominantemente suave/ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Apresentam elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuando a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino (CPRM, 2005).

Os solos presentes no município de Pombal são basicamente os LUVISSOLOS CRÔMICOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS e os NEOSSOLOS FLÚVICOS (EMBRAPA, 2009).

A vegetação predominante da área é a caatinga hiperxerófila, caracterizada por formações vegetais secas, que compõem uma paisagem cálida e espinhosa, com extratos compostos por gramíneas, arbustos e árvores caducifólias de porte baixo e médio, com grande quantidade de plantas espinhosas, cactáceas e as bromeliáceas (ARRUDA, 2001).

Segundo Sobrinho (1982) a caatinga hiperxerófila é uma área presumivelmente suscetível ao processo de desertificação, o qual se acentua a cada estiagem anual e, principalmente, após cada seca. Quando o período chuvoso volta, verifica-se um esforço de recuperação que nem sempre é recompensado integralmente.

O clima do município é do tipo Tropical Semi- Árido, com chuvas de verão. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. (CPRM, 2005). A precipitação média anual é de 719,7 mm (AESAs, 2013).

3.2 IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite utilizadas foram geradas pelo Mapeador Temático do satélite Landsat 5 (TM - Landsat 5), na órbita 216 e ponto 65, adquiridas do Serviço Geológico Americano (USGS) através do site: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Quatro imagens geradas nas seguintes datas foram aplicadas no estudo: 18 de novembro de 1985 (dia do ano - DDA 322), 11 de setembro de 1995 (DDA 254), 25 de setembro de 2006 (DDA 268) e 03 de novembro de 2009 (DDA 307).

Estas datas foram selecionadas em função da inexistência de cobertura de nuvens na área de estudo e do período de interesse que é o de estiagem no município, as imagens não podem ser no período de precipitação já que a chuva deixa a vegetação exuberante, mascarando os resultados da degradação.

O satélite Landsat 5 tem resolução temporal de 16 dias. O sensor TM mede a radiância espectral dos alvos e armazena-os na forma de níveis de cinza, ou número digital (ND), cujos valores variam de 0 a 255 (8 bits), tendo uma resolução espacial de 30 m x 30 m nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e resolução de 120 m x 120 m no canal termal, banda 6. As características de cada banda do TM - Landsat 5 estão apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01- Bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera.

| Bandas | Comprimento de Onda (μm) | Coeficientes de calibração ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) | | | | Irradiância espectral no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$) |
|--------------|---------------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|---|
| | | Grescale | | Brescale | | |
| | | 1985 1995 | 1985 1995 | 2006 2009 | 2006 2009 | |
| 1- Azul | 0,45 – 0,52 | 0.602431 | -1.52 | 0.762824 | -1.52 | 1957,0 |
| 2- Verde | 0,53 – 0,61 | 1.175100 | -2.84 | 1.442510 | -2.84 | 1826,0 |
| 3-Vermelho | 0,62 – 0,69 | 0.805765 | -1.17 | 1.039880 | -1.17 | 1554,0 |
| 4-IV próximo | 0,78 – 0,79 | 0.814549 | -1.51 | 0.872588 | -1.51 | 1036,0 |
| 5-IV médio | 1,57 – 1,78 | 0.108078 | -0.37 | 0.119882 | -0.37 | 215,0 |
| 6-IV termal | 10,4 – 12,5 | 0.055158 | 1.2378 | 0.055158 | 1.2378 | - |
| 7-IV médio | 2,10 – 2,35 | 0.056980 | -0.15 | 0.065294 | -0.15 | 80,67 |

Fonte: CHANDER et al., 2007

Todo processamento das imagens foi realizado com o software ERDAS Imagine 9.1, da LeicaGeosystems. Inicialmente as bandas foram empilhadas, seguindo a ordem crescente, formando um único arquivo de imagem. O recorte da área de interesse foi feito a partir um arquivo vetorial do limite do município de Pombal, o mesmo recorte foi mantido para todas as imagens.

3.3 OBTENÇÃO E APLICAÇÃO DO ALBEDO E DO NDVI

É necessário fazer a calibração radiométrica de cada banda, ou seja, a conversão dos dados armazenados em números digitais (DN) para radiância monocromática (L_{λ_i}). A radiância monocromática compreende a radiação solar refletida (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) ou emitida (banda 6) por unidade de ângulo sólido, de comprimento de onda e de elemento de área projetada na direção do sensor. No cálculo utiliza-se os coeficientes de calibração da Tabela 01, seguindo a equação 1 de Markham & Baker(1987):

$$L_{\lambda_i} = \left(\frac{b - a_i}{255} \right) ND + a_i \quad (1)$$

onde a e b - irradiâncias espectrais mínima e máxima, Grescale e Brescale ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) conforme Tabela 01, ND - número digital ou intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255) e i corresponde as bandas espectrais (1, 2, 3,.. e 7) do satélite.

As equações 2 a 5, apresentadas a seguir, compreendem as etapas para obtenção do albedo da superfície. A partir da irradiância, calcula-se a reflectância espectral planetária ($\rho_{\lambda i}$), que representa a razão entre o fluxo de radiação solar refletida e o fluxo de radiação solar incidente para cada canal do satélite. A determinação da reflectância pode ser realizada aplicando-se a equação 2 (Bastiaanssen, 1995):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cos Z d_r} \quad (2)$$

em que: $L_{\lambda i}$ - irradiância espectral de cada banda; $K_{\lambda i}$ - irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera; Z - ângulo zenital solar obtido por meio do cabeçalho das imagens adquiridas e d_r - inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (Allen et al., 1998).

O cálculo do albedo no topo da atmosfera foi feito através de uma combinação linear das reflectâncias espectrais ($\rho_{\lambda i}$) e o respectivo coeficiente de ponderação para cada banda (ω_{λ}) de acordo com Bastiaanssen (1995), sendo descrito nas equações 3 e 4:

$$\alpha_{toa} = \sum(\omega_{\lambda} \rho_{\lambda}) \quad (3)$$

$$\omega_{\lambda} = \frac{K_{\lambda i}}{\sum K_{\lambda i}} \quad (4)$$

Em que K_b - irradiância solar espectral média de cada banda no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$). Valores de ω_{λ} são apresentados na Tabela 02 para cada banda.

Tabela 02- Coeficientes de ponderação para o cálculo do albedo no topo da atmosfera, para o sensor TM - Landsat5

| Banda | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---|--------|
| ω_{λ} | 0, 293 | 0, 274 | 0, 233 | 0, 157 | 0, 033 | - | 0, 011 |

Para obtenção do albedo na superfície é necessário corrigir as atenuações atmosféricas, segundo a equação 5 e 6 proposta por Bastiaanssen, (1995):

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{T_{sw}^2} \quad (5)$$

$$T_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot A \quad (6)$$

Em que α_{toa} - albedo no topo da atmosfera; α_p - porção média da radiação solar refletida pela atmosfera na direção do satélite, cujo valor varia entre 0,025 e 0,04; e T_{sw} é a transmissividade atmosférica determinada segundo Allen et al. (1998), onde A representa a altitude local. Na aplicação do algoritmo SEBAL é recomendado o valor 0,03 para α_p (Bastiaanssen, 2000).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é calculado tomando-se as reflectâncias do vermelho (ρ_3) e do infravermelho próximo (ρ_4), usando-se da equação 7, proposta por Ponzoni & Shimabukuro (2007):

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (7)$$

3.4. ANÁLISE DO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

A partir dos produtos gerados pelas imagens Landsat, albedo e NDVI, foram gerados mapas com classes de albedo e NDVI que possibilitaram o diagnóstico da evolução do processo de degradação no município de Pombal nos últimos vinte e quatro anos. As regiões no município foram classificadas em três aspectos: Áreas degradadas; áreas em processo de degradação e áreas não degradadas.

Foram geradas oito classes nos mapas de albedo, com intervalo de 0,05 entre cada uma. Na classe 01 os valores atingiram um intervalo de albedo entre: 0.35-0.40; na classe 02: 0,30-0.35; na classe 03: 0.25-0.30; na classe 04: 0.20-0.25; na classe 05: 0.15-0.20; na classe 06: 0.10-0.15; na classe 07: 0.05-0.10; e na classe 08: 0.0-0.05.

O intervalo de albedo 0.0-0.5 representa valores para corpos hídricos, enquanto que os valores entre 0.05-0.25 são referentes à vegetação. Já o intervalo que engloba os valores de 0.25-0.40 caracteriza solo exposto.

Para os mapas de NDVI foram criadas nove classes, considerando um intervalo de 0,1 entre cada. A classe 01 apresenta um intervalo de NDVI entre: 0.70-0.77; na classe 02: 0.60-0.70; na classe 03: 0.50-0.60; na classe 04: 0.40-0.50; na classe 05: 0.30-0.40; na classe 06: 0.20-0.30; na classe 07: 0.10-0.20; na classe 08: 0.0-0.10 e na classe 09: -0,25-0.0.

O intervalo de NDVI entre -0.25-0.0 representa valores para corpos hídricos, o valor de NDVI entre 0,0-0,20 refere-se à área de solo exposto, o intervalo NDVI entre 0-20-0,40 representa os valores de vegetação caatinga já o intervalo de NDVI 0,40-0.77 são valores referentes a uma vegetação densa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O bioma caatinga responde de forma rápida à presença ou falta de chuvas. A Tabela 03 apresenta os dados pluviométricos do município de Pombal disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) servindo para dar embasamento na análise dos índices de Albedo e NDVI.

Uma ressalta a ser feita são os valores pluviométricos do ano de 1985. Nessa época os dados foram coletados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), e para o município de Pombal esta entidade não apresenta nenhum dado pluviométrico. Desta forma, utilizou-se o município de Coremas-PB, que fica a 29,92 km de Pombal, como base de referência para a região em estudo. A média pluviométrica de Coremas é 880,6 mm (AESAs, 2013), entretanto, verifica-se que no ano de 1985 o total de chuvas foi muito superior (1837 mm), o que infere que este ano foi de grande índice pluviométrico na região.

Em se tratando de uma pesquisa com período relativamente curto, e com diferença pluviométrica entre os anos, a variação no albedo será esclarecida pelos dados pluviométricos apresentados na Tabela 03 e pelas mudanças ocorridas na cobertura do solo. Estudos realizados através da variação do albedo em decorrência de chuvas foram realizado no Nordeste do Canadá e Nordeste do Brasil, respectivamente, por Wang e Davidson (2007) e Chaves et al. (2009).

Tabela 03- Dados pluviométricos do Município de Coremas (1985) e Pombal (1995, 2006 e 2009), Paraíba.

| | | Dados pluviométricos mensais (mm) | | | |
|---------------------|------|--|--------------|--------------|---------------|
| Ano: | | 1985 | 1995 | 2006 | 2009 |
| Mês: | Jan. | 222,5 | 17,6 | 2,3 | 92,3 |
| | Fev | 323,8 | 62,4 | 373,8 | 200,4 |
| | Mar. | 341,6 | 291,2 | 215,7 | 159,4 |
| | Abr. | 504,4 | 234,6 | 213,5 | 397,1 |
| | Mai. | 189,6 | 257,6 | 127,5 | 218,3 |
| | Jun | 127,0 | 31,2 | 21,9 | 91,3 |
| | Jul. | 20,5 | 61,2 | 7,8 | 28,6 |
| | Ago. | 20,4 | 0,0 | 9,1 | 102,0 |
| | Set. | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Out. | 0,0 | 6,0 | 5,3 | 0,0 |
| | Nov | 1,6 | 28,4 | 0,0 | 0,0 |
| | Dez. | 84,7 | 0,0 | 0,0 | 36,5 |
| Totais (mm): | | 1837,7 | 990,2 | 976,9 | 1325,9 |

Fonte: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs.)

Percebe-se que praticamente todo mapa de 1985 (Figura 04) está em tons esverdeados, tanto claros como escuros, representando a presença de vegetação nessas áreas. O albedo com intervalo entre 0,15-0,20 caracterizam uma vegetação caatinga aberta e/ou solo exposto. Os valores de albedo entre 0,10-0,15 simulam uma vegetação arbustiva mais densa, esse resultado podendo ser explicado pelo período chuvoso que o ano analisado sofreu.

O que mais chama atenção nesse mapa são os pixels no tom amarelo claro (albedo= 0,20-0,25) que começam a surgir próximo as margens do rio Piancó, região central do mapa, representando a retirada da vegetação pela população. Conseqüentemente, o valor do albedo aumentou na área analisada em função da expansão do solo exposto.

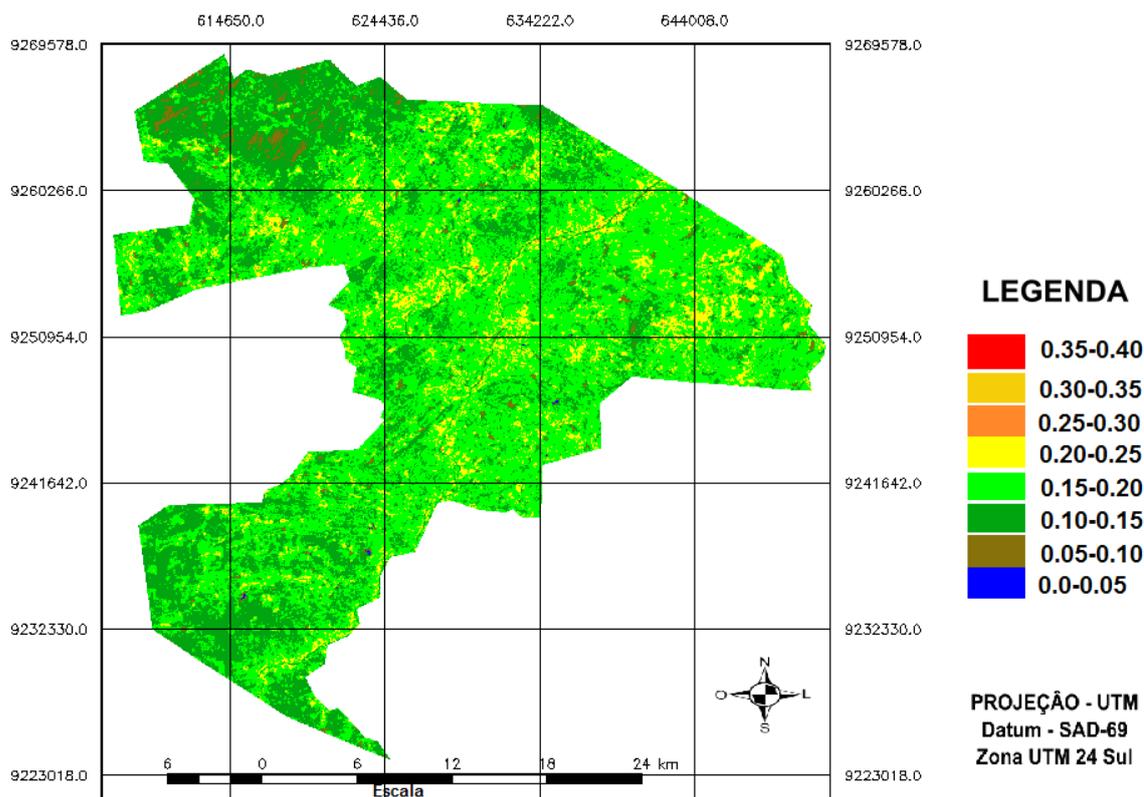


Figura 04: Mapa do albedo do município de Pombal- PB para o ano de 1985.

Esses valores de albedo estão bem próximos dos trabalhos realizado por Chaves et al. (2009) na bacia do Forquilha, Ceará e por Lopes et. al. (2010), na Bacia do Rio Brígida no Oeste do Pernambuco.

Á área do município de Pombal, como foi dito anteriormente, é de 889,7km², desse total, as classes que mais destacaram foram 04; 05 e 06, apresentando respectivamente uma área de 79,0 km²; 526,7 km² e 270,1 km².

No ano de 1995 (Figura 05), percebe-se que a cor verde claro (albedo= 0,15-0,20) é a que predomina no mapa, indicando uma área de vegetação de caatinga aberta. Os pixels em tons de verde escuro (albedo 0,10-0,15) também se destacam, representando uma área de vegetação densa na porção noroeste do município em análise. As classes que se destacaram neste ano também foram 4, 5 e 6. Observou-se um aumento na área da classe 4, a qual passou a dominar 140,8 km². Estes pixels, representados pela cor amarela (albedo 0,20-0,25), são muito presentes ao longo do rio Piancó, caracterizando solo exposto através da ação antrópica na área analisada, ou seja, houve um avanço no desmatamento nas faixas marginais do rio para uso do solo, provavelmente para a agricultura. Desta forma, os valores no albedo aumentaram na área em estudo.

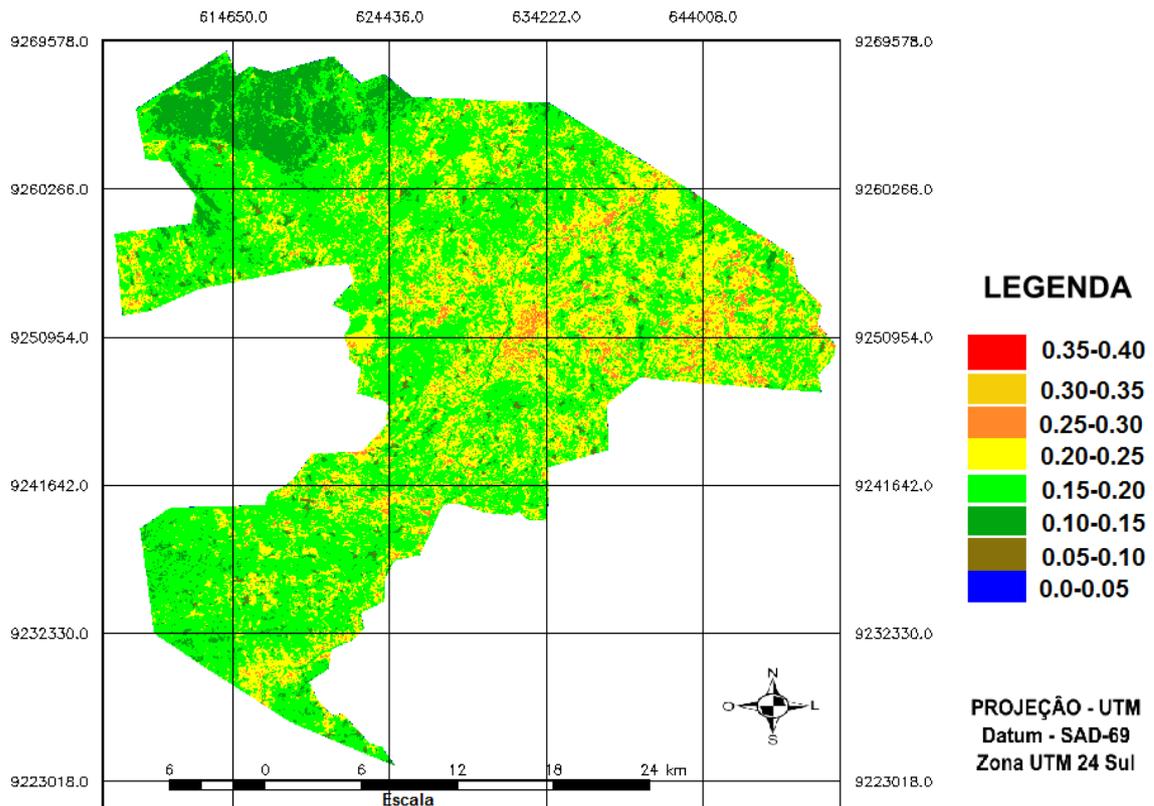


Figura 05: Mapa do albedo do município de Pombal- PB para o ano de 1995.

Outra justificativa para esses valores de albedo foi a má distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do ano de 1995, se observamos o mês que a imagem foi capturada, setembro, e os meses que o antecedem, a precipitação atingiu valores bem baixos, apesar do total de chuva anual ser 990,2 mm, considerado que esse valor está acima da média pluviométrica do município.

Na pesquisa da bacia de drenagem do açude Soledade, localizada na microrregião do Curimataú Ocidental do estado da Paraíba, realizada por Silva et al. (2007) o albedo para área cultivada apresentou um valor de 0,2 .Nas áreas de vegetação rala, vegetação aberta e vegetação mais densa, o albedo foi de 0,22, 0,18 e 0,13, respectivamente. Todos esses valores estão análogos à pesquisa em questão.

Os valores encontrados estão também de acordo com os reportados por Oliveira et al. (2009) para o estudo da bacia do rio Moxotó, no semiárido nordestino. As áreas com atividades antrópicas apresentaram valores de albedo variando entre 0,20-0,25 enquanto que, que as áreas com valores no albedo entre 0,10 e 0,20 eram com presença de vegetação.

Na imagem seguinte, a do ano de 2006 (Figura 06), há um aumento bastante perceptível do albedo da cena como todo, destacando-se os pixels nas cores amarelo claro (albedo=0,20-0,25) e laranja (0,25-0,30), sendo esta última representante de áreas de solo exposto, provavelmente retratando áreas urbanas. As classes 04 (258,8km²), 05 (517,5 km²) e 06 (79,9km²) continuam predominando no mapa. O destaque vai para a classe 3, que torna-se perceptível especialmente no perímetro urbano do município e totalizou 27 km².

Apesar disto, os pixels que refletem valores de vegetação caatinga aberta (albedo 0,15-0,20) apresentam maior proporção no mapa. Pode-se ainda perceber a presença da vegetação caatinga arbustiva densa (albedo= 0,10-0,15) na porção noroeste do município, embora em menores quantidades do que os anos analisados anteriormente. Esses valores no albedo indicam de forma geral uma redução da cobertura do dossel vegetal na região.

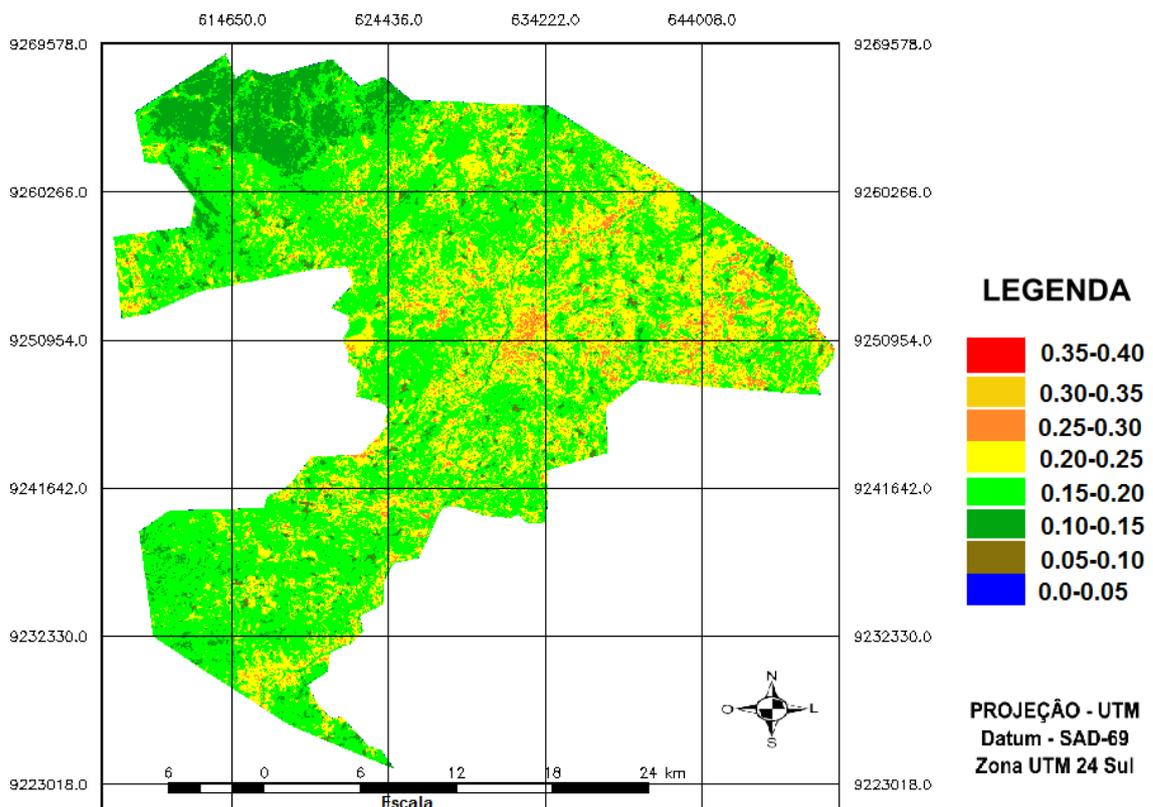


Figura 06: Mapa do albedo do município de Pombal- PB para o ano de 2006.

O aumento do albedo da superfície em 2006 pode ser explicado tanto pela baixa pluviosidade deste ano, registrando a menor precipitação total anual (976,9mm) dos anos analisados, quanto pelas características inerentes da

vegetação de caatinga, a qual deixa cair sua folhagem no período de estiagem. Outro fator que pode justificar os altos valores no albedo foi a intensificação da exploração agrícola sem um manejo adequando nos anos que antecederam essa imagem, e a expansão da área urbana, sendo bem definida no mapa pelos pixels de tom laranja (albedo= 0,25-0,30).

Esses valores de albedo estão de acordo Silva et al. (2010) que pesquisou as alterações climáticas decorrentes de mudanças do uso da terra na Bacia do rio Jaguaribe, Ceará, e encontraram albedo entre 0,16 e 0,18 para as áreas de vegetação na Fazenda Frutacor. Nas margens do rio Jaguaribe a variação no albedo foi de 0,22–0,26 para áreas agrícolas, mais especificamente plantações de melão.

Oliveira et al. (2012), registraram valores no albedo entre 0,23-0,28 para as áreas urbanas dos municípios que integram os limites da Bacia do Rio Tapacurá, sub-bacia do rio Capibaribe, PE. Tais resultados estão bem próximos aos encontrados para as áreas urbanas da análise do município de Pombal (albedo=0,25-0,30).

No mapa de albedo do ano de 2009 (Figura 07), os pixels nos tom verde claro (albedo= 0,15-0,20) são os que mais se destacam, representando uma vegetação de caatinga aberta. A cor verde escuro, caracterizando uma vegetação densa (albedo=0,10-0,15), está bem evidente na porção noroeste da área analisada. Esta classe apresentou considerável crescimento, aumento sua área em 302,6 km². A cor amarelo claro (albedo=0,20-0,25), que representa, conforme discutido acima áreas de solo exposto e/ou vegetação rala, teve uma considerável redução nesse ano. Do total de 258,8 km² apenas permaneceram 52,7km². Contudo, os pixels no tom laranja (albedo=0,25-0,30) ainda estão em destaque no mapa, representando bem as áreas urbanas do município de Pombal (2,7 km²).

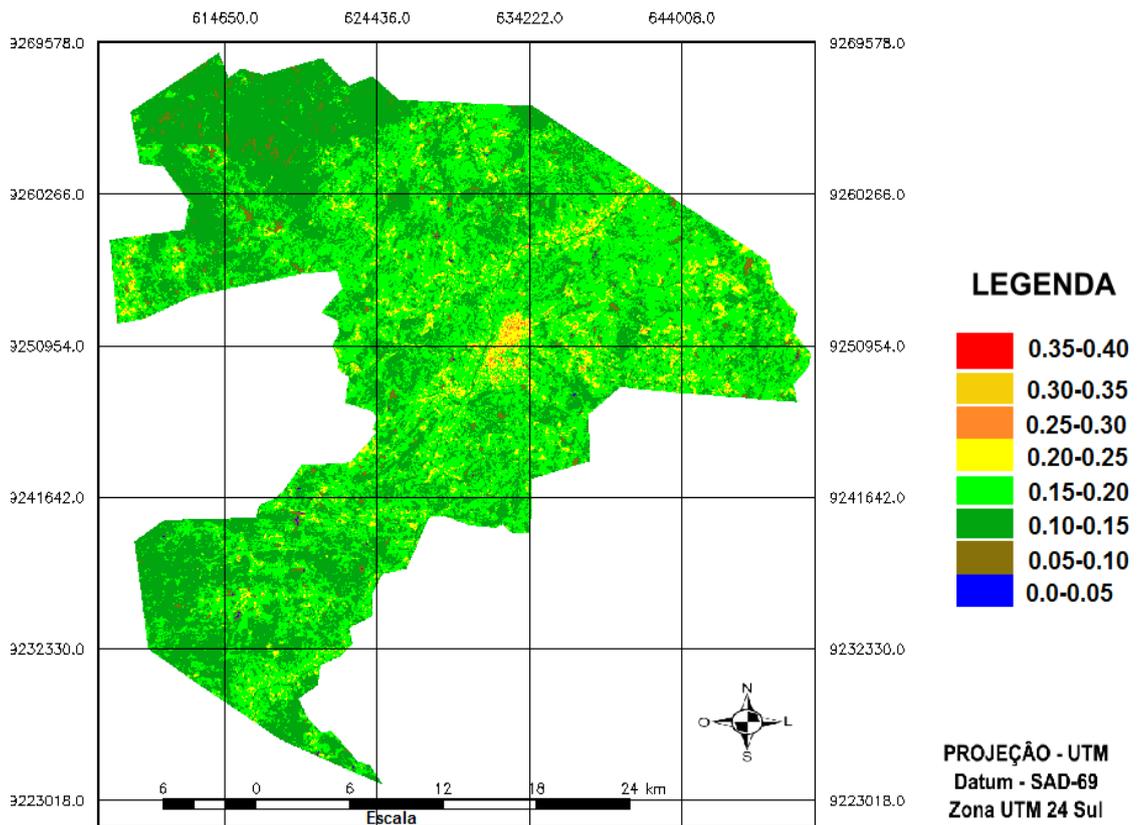


Figura 07: Mapa do albedo do município de Pombal- PB para o ano de 2009.

O valor do albedo é inversamente proporcional ao da vegetação. Desta forma, as áreas vegetadas aumentaram e as de solo exposto diminuiram, resultando na redução do valor do albedo da cena como um todo.

Esses valores podem ser justificados devido ao índice pluviométrico total (1325,9 mm/ano) e a distribuição das chuvas no ano analisado, este sendo considerado um ano atípico para o Nordeste brasileiro. A alta pluviosidade afetou o comportamento do albedo da superfície, em consequência de que após um evento chuvoso há redução da radiação refletida pelo solo e, no caso da Caatinga, aumentam o índice de área foliar da vegetação. Portanto, não se pode afirmar, pela diminuição da reflectância da superfície, que o processo de degradação ambiental do município de Pombal reduziu.

Rodrigues et al. (2009) apresentaram na estação seca, para bacia do Trussu-CE, albedo de 0,10 a 0,15 para áreas de cobertura vegetal nos pontos de maior elevação. A segunda maior porção, aproximadamente 40,16% do território da bacia, demonstrou valores de albedo entre 0,15 e 0,20, representando a vegetação típica da área (caatinga); e os valores de albedos variando de 0,26 a 0,36 caracterizaram áreas desprotegidas, tipicamente encontradas em regiões semiáridas.

Na pesquisa de Souza et al. (2012) realizada na Chapada do Araripe, PE, o valor médio do albedo para caatinga degradada foi de 0,16 durante o período chuvoso. Este resultado é correlato aos valores de albedo que mais se destacam na nossa área de estudo no ano de 2009, o qual foi de chuvas acima da média. Portanto, este resultado pode apontar para uma condição de vegetação sofrendo processo de degradação.

Fazendo um comparativo dos dois anos considerados chuvosos, 1985 e 2009, entre as classes de albedo que atingiram maiores proporções, pode-se perceber que a classe de albedo 04 (albedo 0,20-0,25) teve uma redução em sua área, passou de 79,0km² para 52,7km², já que esse valor representa uma área de solo exposto e/ou vegetação rala, implica dizer que a porção de vegetação aumentou no município, em decorrência da umidade do solo.

Quando comparamos a classe 05, vegetação de caatinga aberta, pode-se perceber que esse valor também teve uma redução, passou de 526,7km² para uma área de 438,1km², desta forma, houve um aumento na área de vegetação densa, que representa a classe 06, que no ano de 1985 apresentava uma área de 270,1 km² e no ano de 2009 passou a ocupar 382,5 km².

Na análise comparativa dos anos secos, 1995 e 2006, detectou-se um aumento na classe de albedo 04 (0,20-0,25). No primeiro ano esta classe apresentou uma área de 140,8km², e no segundo 258,8km², ou seja, o aumento do solo exposto e/ou vegetação rala foi bastante considerável entre os anos analisados.

As áreas de vegetação caatinga aberta (classe 05: albedo 0,15-0,20) também se expandiram, saindo de uma área de 495,7 km² para uma extensão de 517,5 km². A vegetação densa teve uma redução da sua área, saindo de 225,8km² para 79,9Km². Esses valores significam o aumento de áreas de solo exposto e uma redução nas áreas de vegetação caatinga densa.

O albedo e o NDVI apresentam tendências de crescimento inversas. O NDVI é um indicador de relativa abundância em atividade da vegetação verde (Jensen, 2000), já o albedo possui uma regressão no seu valor com o aumento da mesma, esse processo resulta da menor reflectância do solo com a presença da vegetação.

No mapa de 1985 (Figura 08), as maiorias dos pixels apresentaram cores esverdeadas, NDVI entre 0,20-0,30 (classe 06) e 0,30-0,40 (classe 05), caracterizando respectivamente uma vegetação rala e/ou solo exposto e uma

vegetação de caatinga aberta. Esses valores podem ser justificados pelo ano chuvoso que foi 1985. O área total das classes 04, 05 e 06, respectivamente foram 83,4km²; 508,6 km² e 274,7km².

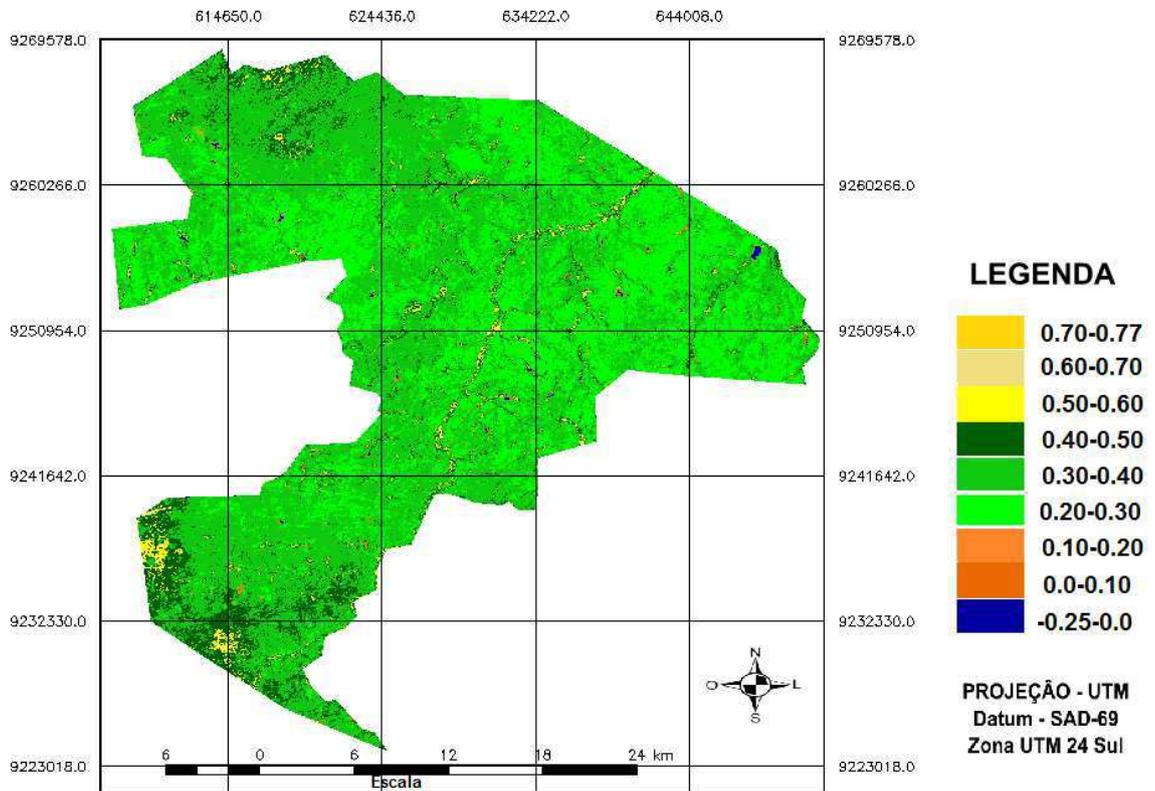


Figura 08: Mapa do NDVI do município de Pombal- PB para o ano de 1985.

Esses valores estão de acordo com os de Rodrigues et al. (2009), que em alguns pontos do sul da bacia hidrográfica Folhica, Ceará, atingiu altos valores de NDVI (> 0,4), representando uma vegetação densa. Também estão corroborando com Lopes et al. (2010) em que a maioria dos valores de NDVI encontrados para a bacia do rio Brígida (PE), no ano de 1985, foi entre 0,35-0,40 para vegetação nativa, e o valor mínimo encontrado foi de 0,24 para solo exposto.

No ano de 1995, percebe-se que a cor verde claro, NVDI entre 0,20-0,30, é a que predomina no mapa (Figura 05), indicando uma área de vegetação rala e /ou solo exposto. Os pixels em tons de verde (NDVI 0,30-0,40) e verde escuro (NDVI 0,40-0,50) também são destaque, representando respectivamente uma vegetação caatinga aberta e uma vegetação mais densa, provavelmente esta última sendo uma área de difícil acesso ou uma área preservada. Seguindo a mesma tendência do ano

de 1985, as classes 04, 05 e 06 foram as mais presentes no mapa, totalizando, respectivamente, 59,6 km², 283,9km²e 482,0 km².

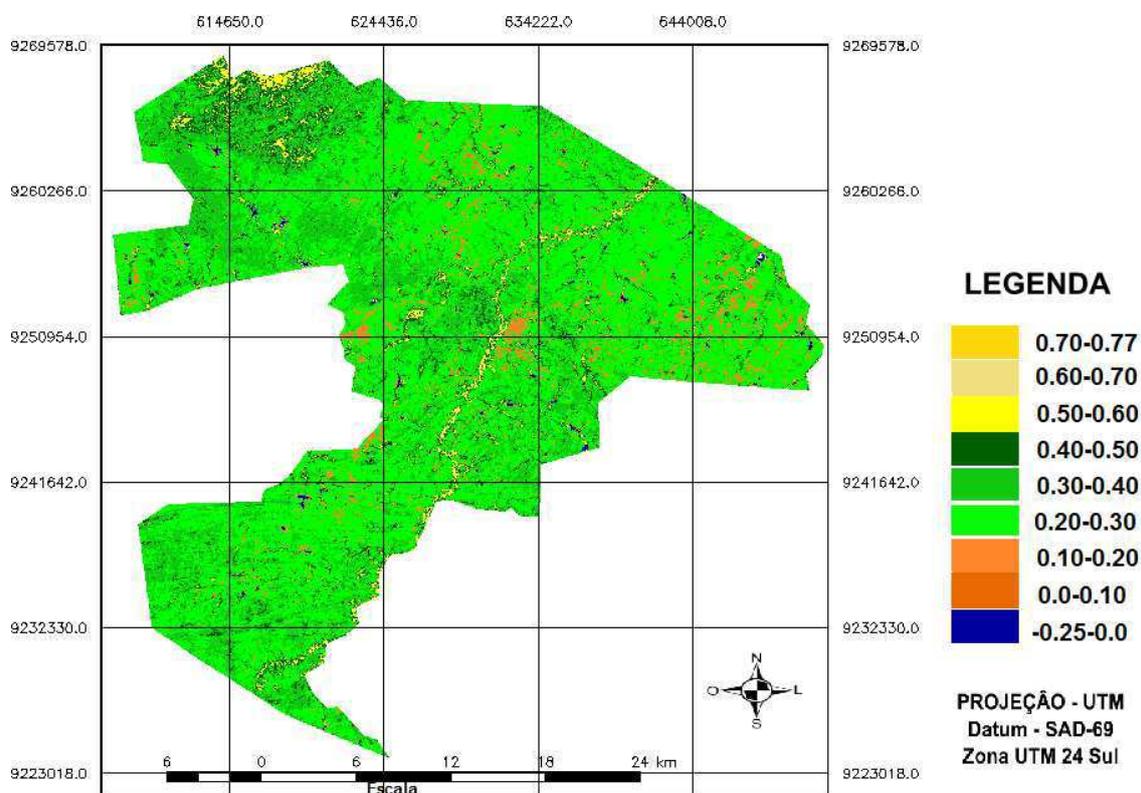


Figura 09: Mapa do NDVI do município de Pombal- PB para o ano de 1995.

Na porção central do mapa, pode-se perceber ir pixels em tons alaranjados (NDVI 0,10-0,20), valores que representam solo exposto. Esses valores podem ser explicados tanto pelo processo de urbanização, quanto pelas atividades agrícolas nas margens do rio Piancó (parte central do mapa). Através de testemunho dos moradores do sítio Areia Branca, pode-se constatar que teve uma substituição da mata ciliar pela agricultura de subsistência no leito do rio Piancó, em consequência das necessidades da época e muitos moradores acreditavam que a mata ciliar era a causa das inundações no período chuvoso.

Outra explicação para o aumento da vegetação rala/ e ou solo exposto é a distribuição e o valor pluviométrico do período que essa imagem foi capturada, se observar o mês de setembro (Tabela 03), e os que antecedem e sucede este, o valor pluviométrico é de 0,0mm ou bem próximos a este valor.

Em setembro de 1995, Bezerra et al. (2011) localizou na região do cariri cearense valores de NDVI entre 0,20 a 0,25 em áreas de pouca cobertura vegetal e com baixo teor de umidade do solo. Oliveira et al. (2010), em estudos realizados no

parque Nacional da Serra do Capivara- Piauí, verificou os mesmos valores no NDVI (entre 0,20) o que pode evidenciar uma diminuição de área foliar na cobertura vegetal, devido, provavelmente, às menores precipitações nos meses anteriores.

No mapa do ano de 2006 (Figura 10), houve um aumento perceptível do intervalo de NDVI de 0,10-0,20, destacando-se vários pixels no tom laranja claro, principalmente na região central da imagem, por onde passa o rio Piancó. Esses valores evidenciam pixels de solo exposto, provavelmente pelo aumento da expansão urbana e somaram área total de 216.3km².

A outra tonalidade que se destaca é o verde claro representando um NDVI entre 0,20-0,30. Esses valores de NDVI representam respectivamente uma área praticamente sem vegetação e de solo muito seco e sua área passou para 557,4 km².

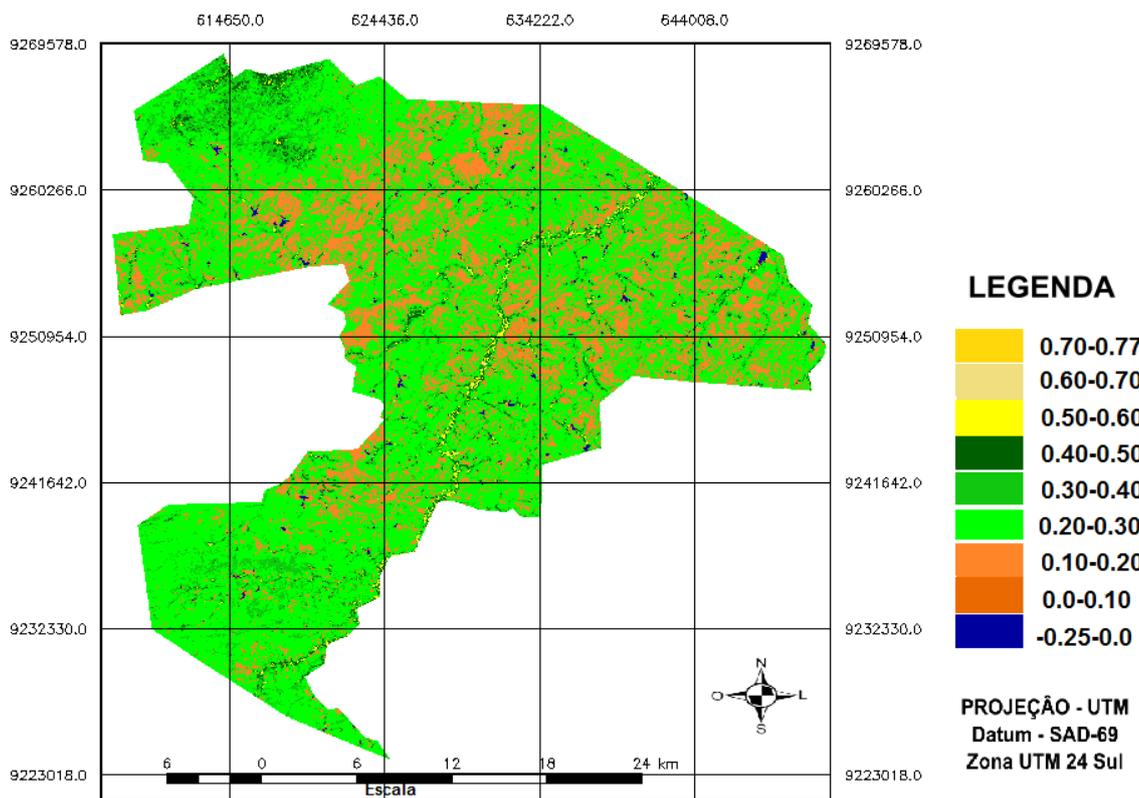


Figura 10: Mapa do NDVI do município de Pombal- PB para o ano de 2006.

Essa redução nos valores do NDVI pode ser esclarecida pelo ano seco que foi 2006, quando comparando aos outros anos analisados, associados às características inerentes da vegetação caatinga. Outra contribuição para esses índices de NDVI foram às práticas desordenadas de desenvolvimento urbano sem nenhuma sensibilidade com os recursos naturais.

Melo et al. (2011) verificaram que para a região do Crateús, Ceará, que os valores de solo exposto aumentaram 108 km² em sua área de estudo no ano de 2006 comparado com 1979, evidenciando o uso do NDVI como parâmetro para estudo da degradação da caatinga.

Esses valores são equivalentes aos de Borges et al. (2009) em pesquisa realizada em Bom Jesus da Lapa, Bahia, e Aquino et al. (2012) no município de São Raimundo Nonato, Piauí.

No ano de 2009, percebe-se que os pixels com valor de NDVI entre 0,30-0,40 predominam o mapa (Figura 11), representando uma vegetação de caatinga aberta. Pode-se perceber também, que a vegetação densa ao longo do rio, na região central da imagem, está bem expressiva apresentando índices de NDVI entre 0,50-0,60 e 0,60-0,70, esses valores sendo representado pelas cores amarelo claro e bege, respectivamente. Na parte noroeste do mapa esses elevados valores de NDVI também foram identificados. As classes que mais se destacaram foram a classe 04, com 195,8km²; a classe 05, a que apresentou a maior área, atingindo um valor de 554,7 km² e a classe 06 com 78,1km².

Esse aumento no NDVI pode ser justificado pelo total anual pluviométrico e pela distribuição das chuvas ao longo desse ano que o município de Pombal atingiu, em consequência, a vegetação tornando-se mais exuberante em resposta a umidade do solo. Rodrigues et al. (2009) afirma que O NDVI apresenta maior sensibilidade ao regime hídrico, mostrando alto potencial de recuperação da vegetação ao efeito da precipitação.

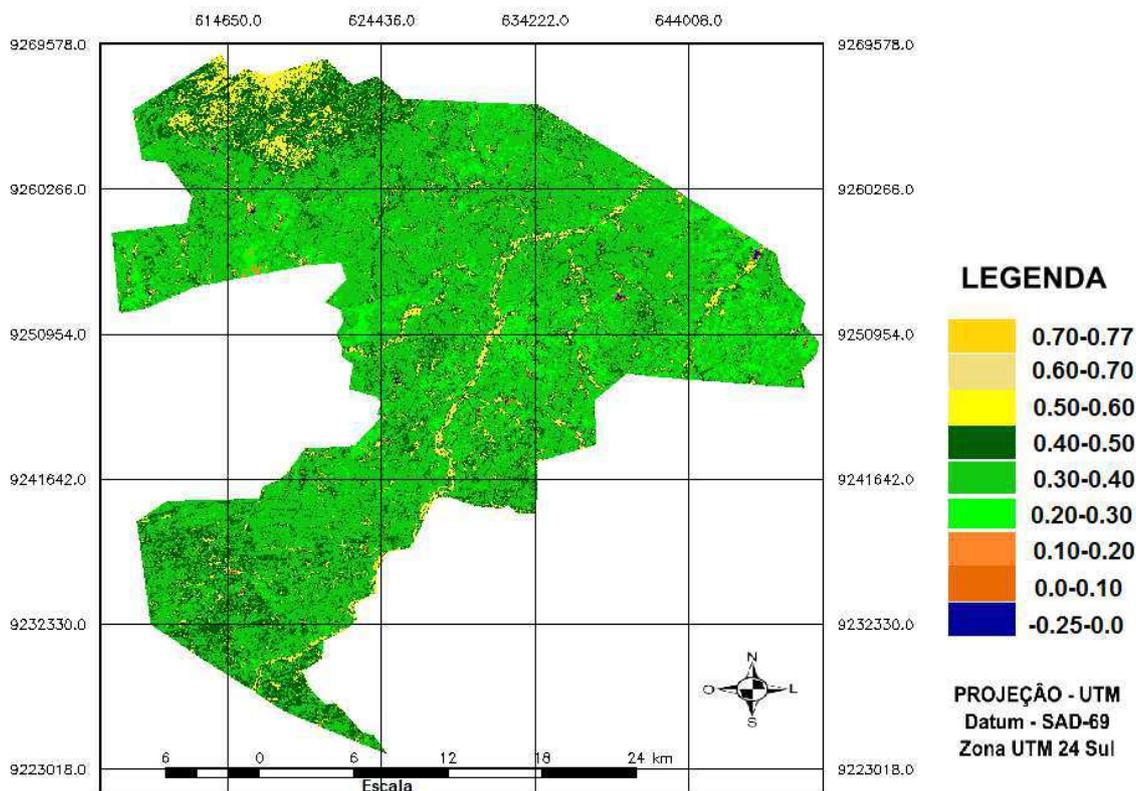


Figura 11: Mapa do NDVI do município de Pombal- PB para o ano de 2009.

Os valores de NDVI encontrados estão análogos aos de Silva et al. (2007) em seu estudo na bacia de drenagem do açude Soledade, PB. O valor de NDVI para a vegetação densa expressou 0,641, o mesmo constatando em sua pesquisa que o ano de 2009 foi o que atingiu os maiores valores de NDVI para todos os usos analisados. Esses valores estão uniformes também com os de Brandão et al. (2007) que apresentaram em sua pesquisa valor de NDVI 0,718 para vegetação densa no município de Barbalha, Ceará.

Rodrigues et al. (2009) afirmam que o albedo e o NDVI quando avaliados a longo prazo, podem ser importantes indicadores de desertificação e de redução de fitomassa da Caatinga. Desta forma, os resultados sugerem para uma redução na vegetação entre os anos, apesar de que no ano de 2009 os valores de albedo e NDVI apontam para um aumento da mesma, esse fato é resultante do índice pluviométrico que esse ano atingiu (1325,9 mm).

Gurgel et al. (2003), estudando variabilidade do NDVI em todo o Brasil, confirmaram alta correlação entre a variável precipitação pluviométrica e NDVI. Apesar de a Caatinga ser considerada como um bioma de elevada fragilidade, seu alto poder de resiliência confirma-se pela formação da biomassa imediata em

resposta aos eventos de chuva, com isso pode-se afirmar que os resultados do ano de 2009 foram diretamente influenciados pela pluviosidade naquela época.

Comparando 1985 com 2009, os dois anos chuvosos da análise, pode-se perceber que a classe de albedo 04 (NDVI 0,40-0,50) teve um aumento em sua área, passou de 83,4km² para 195,8km², já que esse valor representa uma área de vegetação densa, implica dizer que a porção de solo exposto reduziu no município.

Quando comparamos a área de vegetação aberta, classe 05 (NDVI 0,30-0,40), percebe-se um aumento, passando de 508,6km² para uma área de 554,7km², o que, em primeira análise, indica redução na área de solo exposto e /ou vegetação rala. Este tipo de superfície, representado pela classe 06 (NDVI 0,20-0,30), que no ano de 1985 possuía área de 274,1 km² passou no ano de 2009 passou a ocupar 78,1 km².

Confirmou-se que na estação chuvosa os índices NDVI e albedo atingiram, respectivamente, maior e menor valor. Tal afirmativa pode ser visualizada nas figuras apresentadas anteriormente, onde, por exemplo, a região central do mapa, por onde passa o rio Piancó, e na região onde se concentra as áreas de vegetação densa (noroeste) do município de Pombal.

Na análise comparativa entre os anos de 1995 e 2006 para classe 05 (NDVI 0,30-0,40), detectou-se uma redução da vegetação aberta. No primeiro ano, ela apresentou uma área de 238,9km², já no segundo ano, sua área foi de 82,0km². Tal comportamento está atrelado ao aumento do solo exposto, cuja classe de NDVI (0,10-0,20) passou de 35,8km² para 216,3km².

As áreas de solo exposto e /ou vegetação rala (classe 06: NDVI 0,20-0,30) também se expandiram, saindo de uma área de 482,0 km² para uma extensão de 557,4 km². Com isso, a vegetação densa teve uma redução na sua área, saindo de 59,6km² para 20,2Km².

Em decorrência da redução da vegetação entre o ano de 1985 e o de 2006, pode-se inferir que a degradação do solo localizado no município de Pombal-PB é crescente. As áreas próximas ao rio Piancó foram as que sofreram maior impacto com a supressão da cobertura vegetal, uma vez que o rio contribui para o adensamento populacional e exploração dos recursos naturais. O comportamento adverso verificado em 2009, deve-se às chuvas, conforme discutido anteriormente.

Se não houver uma mudança no hábito da população essas áreas se tornarão improdutivas, dessa forma, torna-se necessário uma fiscalização mais eficiente das mesmas por parte do Poder Público e da sociedade, tendo em vista que as matas ciliares são áreas de proteção permanente

5. CONCLUSÕES

1. As técnicas empregadas capturaram de maneira evidente, a variabilidade temporal e espacial dos parâmetros biofísicos albedo da superfície e NDVI.
2. O comportamento do albedo e do NDVI, em resposta às condições meteorológicas para o período avaliado são bem nítidas.
3. Pode-se verificar a partir do mapeamento, a relação dos parâmetros NDVI e albedo com o grau de cobertura do solo. O albedo diminuindo com o desenvolvimento da vegetação, enquanto o NDVI aumentava.
4. As análises dos anos de 1985, 1995, 2006 e 2009 apontam para uma redução da cobertura vegetal mais densa e um aumento no solo exposto e da vegetação rala, principalmente nos locais próximos ao rio Piancó, evidenciando o processo de degradação nessas áreas.
5. Na parte noroeste do mapa do município de Pombal, as áreas de vegetação caatinga densa se mantiveram quase que intactas durante os 24 anos analisados.
6. O NDVI é um índice mostrou-se muito sensível à precipitação. Portanto, estudos utilizando outros índices que filtrem a reflectância do solo, como o SAVI possam ser mais adequados.
7. Para uma avaliação mais precisa da mudança na cobertura do solo do município de Pombal, sugere-se que tais estudos sejam sequenciados, utilizando-se futuramente mais imagens, para, a despeito do regime de chuvas, identificar realmente o seu grau de degradação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, J. L. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, M. **Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM.** Anais X SBRS, Foz do Iguaçu, 2001.

AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.** Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/>>. Acesso em 27 fev. 2013.

AGUIAR, A.L.X.; OLIVEIRA, I.P.; CRUZ, M.L. B. **Degradação ambiental/desertificação na região de Canindé-CE: Análise e mapeamento espectral-temporal a partir de imagens LandsatV.** I Seminário Latino Americano de Geografia Física II, Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

Allen, R. G., Trezza, R. & Tasumi M. **Surface energy balance algorithms for land. Advance training and users manual,** version 1.0, 2002, 98p.

ALVES, J. J. A.; SOUZA, E. N.; NASCIMENTO, S.S. **NÚCLEOS DE DESERTIFICAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA. R. RA'É GA,** Curitiba, n. 17, p. 139-152, 2009.

ANDRADE, K. S.; FEITOSA, P. H. C.; BARBOSA, M. P. **Sensoriamento Remoto e Sig na Identificação de Áreas em Processo de Desertificação no Município de Serra Branca – PB: estudo de caso.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4351-4356.

AQUINO, C. M. S.; ALMEIDA, J. A. P.; OLIVEIRA, J. G. B.; **ESTUDO DA COBERTURA VEGETAL/USO DA TERRA NOS ANOS DE 1987 E 2007 NO NÚCLEO DE DEGRADAÇÃO/DESERTIFICAÇÃO DE SÃO RAIMUNDO NONATO-PIAUI. RA'É GA,** Curitiba, n.25, p. 252-278 , 2012.

ARAUJO, I. R. A.; SILVA, H. P.; LOPES, A. S.; ALENCAR, B. P. B.; SILVA, H. D. B. **CALCULO DE NDVI NO SUPORTE AO ESTUDO DE DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE OROCÓ – PE.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010 p. 001 - 006

ARRUDA, M. B. **Biomass e Ecoregiões. In: Ecossistemas Brasileiros.** Edições IBAMA 2001.

BARBOSA, M. P., PEREIRA, D. D., ARAUJO, A. E. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca-** Termo de Referência, UFCG, Campina Grande, 2005.

Bastiaanssen, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1995. 273p. Ph.D. Thesis

BASTIAANSSEN, W. G. M. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **JournalofHydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.

BEZERRA, M. V. C. **Balço de Energia em Áreas Irrigada Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. 2004. 108f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2004

BEZERRA, M. V. C.; SILVA B. B. da; BEZERRA, B. G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.7, p.709–717, 2011. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.

BLOCH, D. **Resumo e comentário das Políticas nacionais e Internacionais relativas ao tema desertificação**. Recife: AS-PTA, 1999.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, B. B. Mapeamento e quantificação de parâmetros biofísicos e radiação líquida em área de algodoeiro irrigado. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras v. 34, n. 2, p. 485-493, 2010.

BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B.B. **Uso do NDVI para determinação da biomassa na chapada do Araripe**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 27-81.

CARVALHO, C. M. **Avaliação da Desertificação no Sudoeste do Estado do Piauí- PI, através de técnicas de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2007. 98p.

CAVALCANTE, M. B.; MARIANO NETO, B.. Reflexões sobre os impactos sócio-ambientais da atividade ecoturística no Parque Estadual da Pedra da Boca, Paraíba. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia/UFU, v.8, n.24, p.46-55, 2007.

CHADER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSÍ, J. A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **EEEGeoscienceandRemoteSensingLetters**, vol. 4, nº. 3, July 2007.

CHAVES, L.C.G; RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E. M. **Uso do SEBAL na variação temporal do albedo de superfície na bacia do Forquilha, Ceará, baseado em imagens LANDSAT 5-TM**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5695-5702.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. Phytomass mapping of the “SeridóCaatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. **ScientiaAgricola**, v.59, n. 4, p. 707-715, 2002.

CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Pombal, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DI PACE, F. T. **Estimativa do balance de radiação a superfície terrestre utilizando imagens TM-LANDSAT-5, modelo de elevação digital.** Tese (Doutorado). DCA/UFCG. Campina Grande, 2004.

FLORENZANO, T. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009

GURGEL, H.C.; FERREIRA, N.J.; LUIZ, A.J.B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil utilizando-se a análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.85-90, 2003.

HARTMANN, D.L. **Global Physical Climatology**, San Diego, CA, Academic Press. 1994.

JENSEN, J.R. **Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective.** Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

JENSEN, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective.** New Jersey: Prentice Hall, 2000. 544p.

KAZMIERCZAK M. L. Desenvolvimento de um algoritmo para Modelar a Susceptibilidade de Desertificação no Nordeste do Brasil: Algoritmo Isd[Neb]. **Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 133-143.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** John Wiley & Sons, Inc. Second Edition. New York. 1987.

LIMA, J. R. **DESERTIFICAÇÃO NO CONTEXTO DA CONVIVÊNCIA COM O SEMI-ÁRIDO.** ESPECIAL: DESERTIFICAÇÃO E SEMI-ÁRIDO, 2005.

LIRA, V. M.; OLIVEIRA, F. M.; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. Alterações da precipitação em municípios do estado de Pernambuco. **Engenharia Ambiental – Espírito Santos do Pinhal**, v. 3, n. 1, p. 052 – 061, jan/jun 2006.

LOPES, H. P.; CANDEIAS, A. L. B; ACCIOLY, L. J. O; JÚNIOR, J. R. T. **Utilização dos parâmetros físicos albedo e temperatura na identificação de áreas degradadas na Bacia do Rio Brígida –PE.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p.3119-3127.

LOPES, H.L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.;SOBRAL, M. C. M.; PACHECO, A.P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas.**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1210–1219,Campina Grande, PB,2010.

LOPEZ-BERMUDEZ, F. Desertificación: magnitud del problema y estado actual de las investigaciones. GUTIERREZ, M. & PENA, J. L. (Edit.). **Perspectiva em Geomorfología**. Murcia: Sociedad Espanola de Geomorfologia, 1988, p. 155- 169.

Markham, B. L. & Barker, J. L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances.**International Journal of Remote Sensing, London**, v.8, n.3, p. 517-523, 1987.

MATALLO JR., Heitor. “A desertificação no mundo e no Brasil.”. In: SCHENKEL, CelsoSalatino& MATALLO JR., Heitor. **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 1999.

MATALLO JÚNIOR, Heitor. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectiva**. Brasília: UNESCO, 2001

MATOS, R. C. M.; AZEVEDO, J. R. G. XIX **ANÁLISE MULTITEMPORAL DO ALBEDO NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA COM AUXÍLIO DE IMAGENS LANDSAT5-TM**.XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, Brasil, 27 de novembro a 01 dezembro de 2011.

MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.**Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**.Rio de Janeiro: Campus, 2003. 344 p.

MELO, E. T.; SALES, M.C.L.; OLIVEIRA, J.G.B. Aplicação do Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE.**R. RA´E GA**,Curitiba, n. 23, p. 520-533, 2011.

OLIVEIRA, T. H.; GALVINCIO, J. D.; SILVA, J. S.; SILVA, C. A. V.; SANTIAGO, M. M.; MENEZES, J. B.; SILVA, H. A.; PIMENTEL, R. M. M. **Avaliação da Cobertura Vegetal e do Albedo da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com Imagens do Satélite Landsat5**.Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2865-2872.

OLIVEIRA, T.H. de; MACHADO, C.C.C.; SILVA, J.S.;GALVÍNCIO, J.D.; PIMENTEL, R.M. de M.; SILVA, B.B. da.Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedoda superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.1, p.55-69, 2010.

OLIVEIRA, T. H.; SILVA, J. S.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D.; NÓBREGA, R. S.; PIMENTEL, R. M. M. **Detecção espaço-temporal de estresse hídrico na vegetação do semi-árido no nordeste do Brasil utilizando NDVI e NDWI – Estudo de caso Serra da Capivara e Serra do Congo – PI**. VI Seminário Latino

Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física
Universidade de Coimbra, Maio de 2010

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C. GALVÍNCIO, J. D. Análise Quantitativa de Parâmetros Biofísicos de Bacia Hidrográfica Obtidos por Sensoriamento Remoto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.9, p.1209-1217, set. 2012

PACHECO, A.P.; FREIRE, N.C.F; BORGES, U. N. UMA CONTRIBUIÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA CAATINGA BRASILEIRA. Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, UFG, **Boletim Goiano de Geografia**, v. 26, n. 1, jan/jun. 2006.

PADUA, J. A. Um sopro de destruição. **Pensamento político e crítica ambiental no Brasil escravista (1786-1888)**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2002.

PAE. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca**. João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente, 2011.

PAN-BRASIL. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN- Brasil)** Brasília: Ministério do Meio Ambiente/ Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v. 1, 127 p.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G.; ARRAES, F. D. D. **Avaliação da dinâmica da cobertura vegetal na bacia Forquilha, Ceará, Brasil pelo uso do NDVI**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6125-6132.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, B. B. SAZONALIDADE DE VARIÁVEIS BIOFÍSICAS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS PELO EMPREGO DO SENSORIAMENTO REMOTO. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.452-465, jul./set. 2009.

ROBINOVE, C. J.; CHAVEZ, P. S.; GEHRING, D.; HOLMGREN, R. Arid Land Monitoring Using LANDSAT Albedo Difference Images. **Remote Sensing of Environment**. v. 11, p. 133-156. 1981.

ROXO, M. J. O panorama mundial da desertificação. Emilia Moreira (Org.). **Agricultura familiar e Desertificação**. João Pessoa: Ed. Universitária da UFPB, 2006, p. 11-32

SILVA, B.B; LOPES, G. M; AZEVEDO, P.V; Determinação de albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. **Rev.Bras. Agrometeorologia**, v.13, n.2, p.201-211, 2005.

SILVA, L.; FILHO, J. F. C.; LIMA, E. R. V.; ALMEIDA, H. A.; **ANÁLISE DO ALBEDO E DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA, USANDO O SEBAL - SURFACE ENERGY BALANCE ALGORITHM FOR LAND.** XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Natal, Brasil, 09-13 Julho 2007.

Silva, H.P. **Mapeamento das áreas sob risco de desertificação no semiárido de Pernambuco a partir de imagens de satélites.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo)– Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife-PE, 2009.

SILVA, B.B. da; SILVA, S.T.A. da; GOMES, H.B. Alterações climáticas decorrentes de mudanças no uso da terra mediante sensoriamento remoto. **Mercator**, v.9, p.91-106, 2010.

SILVA, B.B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. BALANÇO DE RADIAÇÃO NO PERÍMETRO IRRIGADO SÃO GONÇALO – PB MEDIANTE IMAGENS ORBITAIS. Revista Caatinga, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 145-152, jul.-set., 2011

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; RANDOW, C. V.; LACERDA, F. F.; SILVA, T. G. F. **COMPORTEAMENTO DO ALBEDO DURANTE O PERÍODO CHUVOSO EM UMA ÁREA DE CAATINGA DEGRADADA NA REGIÃO DA CHAPADA DO ARARIPE-PE.** Encontro de Meteorologia Operacional, 2, Gramado, RS, Anais.UFRGS, 2012

SOBRINHO, J. V. **Processos de desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil: Sua gênese e sua contenção.** Recife, SEMA/SUDENE, 1982. 101p.

STAR, J.; ESTES, J. **Geographic Information Systems: An Introduction.** Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1990.

SUITS, G. H. **Manual of Remote Sensing.** Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry, 1983.

Sun wu. An approach to the designing principle of desertification indicators. **Journal of Natural Resources.** 15(2):160~163, 2000.

TAVARES DE MELO, A. S.; RODRIGUEZ, J. L.. **Paraíba, desenvolvimento econômico e a questão ambiental.** João Pessoa: Grafiset, 2003.

Wang, S.; Davidson, A. Impact of climate variations on surface albedo of a temperature grassland. **Agricultural and Forest Meteorology.** v. 142, p.133-142, 2007.

WWF-BRASIL. *Caatinga*. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br>>. Acesso em 28 set. 2012.