

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

**USO DE IMAGENS MODIS NO MAPEAMENTO
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

RAFAELLA CHRYSTIANE DE MOURA MATOS

Orientadora: Prof. Dr^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Dissertação de Mestrado

Recife, 2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

RAFAELLA CHRYSTIANE DE MOURA MATOS

**USO DE IMAGENS MODIS NO MAPEAMENTO
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação, defendida e aprovada no dia 28/08/2009.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

Recife, 2009

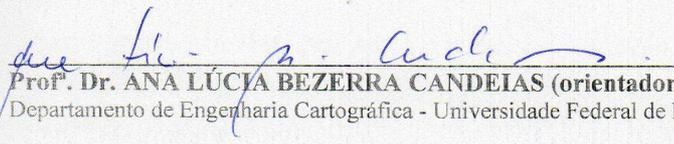
**“USO DE IMAGENS MODIS NO MAPEAMENTO DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS”**

POR

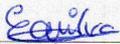
RAFAELLA CHRYSTIANE DE MOURA MATOS

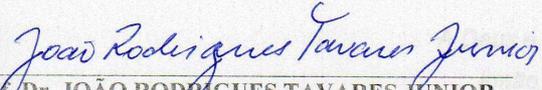
Dissertação defendida e aprovada em 28/08/2009.

Banca Examinadora:


Prof. Dr. ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS (orientadora)
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco


Prof. Dr. CHIGUERU TIBA
Departamento de Energia Nuclear - Universidade Federal de Pernambuco


Prof. Dr. ERIVALDO ANTÔNIO DA SILVA
Departamento de Cartografia - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP


Prof. Dr. JOÃO RODRIGUES TAVARES JUNIOR
Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco

M433u Matos, Rafaella Chrystiane de Moura.

Uso de imagens MODIS no mapeamento de bacias hidrográficas / Rafaella Chrystiane de Moura Matos. – Recife: O Autor, 2009.

viii, 98f.; il., figs., tabs.; mapas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2009.

Inclui Referências Bibliográficas e Anexos.

1. Engenharia Cartográfica. 2. MODIS. 3. Bacia Hidrográfica. 4. Mudanças Globais. 5. Transposição do Rio São Francisco. I. Título.

UFPE

526 CDD (22.ed.)

BCTG/2009-198

*A Deus e aos meus pais Anny, Ranolfo ao meu
irmão Fhelipe e toda minha família por todo
apoio que me deram ao longo dessa
caminhada.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

As pessoas e instituições que colaboraram para o desenvolvimento desta pesquisa:

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

A Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Engenharia Cartográfica e todos os professores, funcionários e alunos pelos ensinamentos acadêmicos e de vida adquiridos ao longo deste período.

A EMBRAPA pelos dados do ZAPE utilizados.

Ao CPTEC/INPE pelos dados meteorológicos.

A minha família, especialmente meu pai José Ranolfo e minha mãe Anny Christina por todo o apoio e força que me deram ao longo destes anos e por não terem permitido que eu desistisse nos momentos difíceis.

A minha orientadora Prof. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias por todo o suporte durante o desenvolvimento deste trabalho, todo o conhecimento transmitido, mas sobretudo por sua amizade.

Ao colaborador Dr. João Rodrigues por todo o conhecimento transmitido.

A Ivaceli amizade construída no Decart e que vai continuar por toda a vida.

A minha prima Janete por ter me ajudado quando cheguei em Recife e a toda sua família, seu marido Antônio Carlos, suas filhas Arianne, Angélica e Amanda por terem me recebido como filha e irmã.

As meninas com quem eu dividi apartamento por todos os bons momentos, pela amizade, pelo apoio e pela paciência para aturar meu mau-humor pelas manhãs: Olga, Alice, Cláudia, Amanda, Alinne e Cris.

Aos meus amigos que de longe estavam na torcida e sempre preocupados comigo aos amigos de Belém em especial, Márcia, Rommel e Jailton, aos amigos de Campinas Alessandra e Fábio.

Aos amigos que conquistei em Recife, que foram muito importantes nestes anos: Ivaceli, Olga, Izabel, Cláudia, Amanda, Alinne, Cris, Carlos, Isac, Bruno, Iuri, Ivan, Jonatas, Jacob, Rosana e tantos outros.

Ao Icamaan pelo incentivo na fase final deste trabalho.

A todos que eu deixei de citar o nome. Muita obrigada!

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| RESUMO | i |
| ABSTRACT | iii |
| LISTA DE FIGURAS | v |
| LISTA DE TABELAS | vii |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS | viii |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Objetivo Geral | 3 |
| 1.2 – Objetivos Específicos | 3 |
| | |
| 2. GEODÉSIA E O SISTEMA WGS84 | 4 |
| 2.1 – Elementos da Geodésia | 4 |
| 2.2 – Imagens MODIS e o Sistema WGS 84 e SIRGAS | 5 |
| | |
| 3. TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO | 9 |
| | |
| 4. SENSOR MODIS | 11 |
| 4.1 – Os produtos MODIS | 12 |
| 4.2 – Formato HDF | 19 |
| | |
| 5. NDVI E EVI, TEMPERATURA E ALBEDO COM SENSOR MODIS | 21 |
| 5.1 – Índice de Diferença Normalizada (NDVI) e Realce da Vegetação (EVI) | 22 |
| 5.2 – Temperatura | 25 |
| 5.3 – Albedo | 26 |
| | |
| 6. MATERIAIS E MÉTODOS | 29 |
| 6.1 – Caracterização da Área de Estudo | 29 |
| 6.2 – Materiais | 32 |
| 6.2.1 – Dados Temáticos | 32 |
| 6.2.2 – Dados de Temperatura | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 6.2.3 – Dados Orbitais | 35 |
| 6.2.4 – Dados Vetoriais | 35 |
| 6.2.5 – Programas Utilizados | 35 |
| 6.3 – Métodos | 35 |
| 6.3.1 – Aquisição dos dados orbitais e conversão das imagens | 35 |
| 6.3.2 – Metodologia para NDVI/EVI | 36 |
| 6.3.3 – Metodologia para Temperatura | 36 |
| 6.3.4 – Metodologia para Albedo | 37 |
| 7. RESULTADOS | 39 |
| 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 67 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 69 |
| ANEXOS | |

RESUMO

MATOS, Rafaella Chrystiane de Moura. **Uso de imagens MODIS no mapeamento de bacias hidrográficas**. Recife, 2009. 98p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2009.

Esta pesquisa tem como enfoque mostrar aplicações do sensor MODIS (*Moderate Resolution Spectroradiometer*) e seus diferentes tipos de produtos. O MODIS foi concebido para análise de mudanças em escala global, possuindo assim diversas aplicações ambientais. Este sensor possui 36 bandas e 44 produtos para diferentes tipos de pesquisas. A resolução espacial das imagens MODIS varia de 250m a 1km dependendo da banda ou produto a ser analisado. O produto MOD13Q1 do nível 3 do sensor MODIS é um produto específico para aquisição de informações do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), com resolução espacial de 250 m, e resolução espacial de 16 dias, e dispõe de dois índices de vegetação: NDVI e EVI (Enhanced Vegetation Index); Duas imagens com informações de atestamento da qualidade dos produtos NDVI e EVI (quality NDVI e quality EVI); Imagens de reflectância RED, BLUE, NIR e MIR; Três imagens referentes a forma de aquisição dos dados, correspondentes a ângulo de visada, ângulo zenital solar e azimute. Já produto MOD43B3 é um produto de albedo de superfície do MODIS e contém as sete primeiras bandas do sensor MODIS além de outras três bandas simuladas com larga faixa espectral. O MOD11 é um produto do nível 2 que fornece dados de temperatura da superfície terrestre (LST – *Land Surface Temperature*) e emissividade (E) diárias da superfície terrestre com resolução espacial de 1 Km, este é composto por LSTs diurnos e noturnos, qualidade de avaliação, tempos de observação, ângulos de visada, cobertura de céu claro e emissividades estimadas nas bandas 31 e 32 para tipos de cobertura do solo. Nesta pesquisa foram utilizados exclusivamente produtos relacionados ao NDVI, EVI, temperatura e albedo das imagens MODIS/Terra. Estes produtos foram avaliados em um estudo sobre a bacia hidrográfica do Rio Pajeú (UP9 – Unidade de Planejamento Hídrico 9) que está localizada no estado de Pernambuco, especificamente nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e do São Francisco. A bacia envolve as microrregiões do Pajeú, em sua totalidade, e parte do Sertão do Moxotó, do Salgueiro e de Itaparica. A divisão político-administrativa da área que abrange um total de 27 municípios. Na área existe a predominância de rochas cristalinas na proporção de 86,3%, enquanto 11,7% representam depósitos sedimentares e os 2% restantes pertencem aos solos aluviais. O relevo divide-se entre planos e ondulados, com vegetação de caatinga arbustiva e arbórea em sua maior

parte. Os tipos de solos mais predominantes na área são os do tipo Luvisolo Crômico, Argissolo Solodico e Neossolos (NC, Os e R). Neste trabalho, os parâmetros extraídos das imagens foram comparados com dados de solo contidos no ZAPE (Zoneamento Agroecológico de Pernambuco) desenvolvido pela EMBRAPA solos e, sobrepostos a mapas da transposição do Rio São Francisco que corta uma pequena faixa desta bacia mas que pode causar alterações importantes na área com esta obra civil. Os objetivos foram portanto: analisar a variação da vegetação na área da bacia a partir de imagens multitemporais de NDVI e EVI; Analisar o comportamento da temperatura na área da bacia; E analisar a distribuição do albedo sobre a região a partir de uma análise multitemporal. Um mapeamento temático da bacia hidrográfica foi desenvolvido e mostra-se que imagens MODIS são importantes para análise espacial, temporal e espectral da bacia.

Palavras-chave: MODIS, bacia hidrográfica, mudanças globais e transposição do Rio São Francisco.

ABSTRACT

This research focuses on display applications of MODIS (Moderate Resolution Spectroradiometer) and the different types of its products. The MODIS was design for analysis of changes on a global scale, thus having different environmental applications. This sensor has 36 bands and 44 products for different types of searches. The spatial resolution of MODIS images varies from 250m to 1km depending on the band or product to be analyzed. The product MOD13Q1 from the level 3 of the MODIS sensor is a product specifically for acquiring information of NDVI (Vegetation Index Normalized Difference by) with spatial resolution of 250 m, and spatial resolution of 16 days, and has two vegetation indices: NDVI and EVI (Enhanced Vegetation Index); Two images with information from certifying product quality NDVI and EVI (quality EVI and quality NDVI), reflectance images RED, BLUE, NIR and MIR; Three images relating to a data acquisition , corresponding to viewing angle, solar zenith angle and azimuth. The MOD43B3 product is a product of surface albedo from MODIS that contains the first seven bands of MODIS and other simulated three bands with wide spectral range. The MOD11 is a product of level 2 data provides surface temperature (LST - Land Surface Temperature) and emissivity (E) daily surface with spatial resolution of 1 km, this consists of daytime and nighttime LSTs, as assessment, observation times, look angles, coverage of clear sky and estimated emissivities in bands 31 and 32 for types of land cover. In this study we used only products related to NDVI, EVI, temperature and albedo images of the MODIS/Terra. These products were evaluated in a study on Pajeú river basin (UP9 - Water Resources Planning Unit 9), which is located in Pernambuco state, specifically in the mesorregion of Sertão Pernambucano and San Francisco. The river basin involves the microrregion of Pajeú in its totality, and part of Sertão do Moxotó, Salgueiro and itaparica. The political-administrative area covers a total of 27 municipalities. In the area there is a predominance of crystalline rocks at a rate of 86.3% and 11.7% represent sedimentary deposits and the remaining 2% belong to the alluvial soils. The relief is divided between flat and wavy, with savanna vegetation bushes and trees for the most part. The soil types most prevalent in the area are the type Luvisol, Ultisol Solodi and Neossolos (NC,Os and R). In this work, the parameters extracted from the images were compared with soil data contained in ZAPE (Agroecological Zoning of Pernambuco) developed by EMBRAPA soil and superposed on maps of the transposition of the São Francisco River that flows through a small strip of the basin but may cause important in this area with civil works. The objectives were therefore: to analyze the variation of the vegetation in the basin from multitemporal images of NDVI and EVI; analyze the behavior of temperature in the basin, and analyze the distribution of albedo over the region from a multitemporal analysis. A

thematic mapping of the river basin was developed and shows that MODIS images are important for spatial analysis, temporal and spectral basin.

Keywords: MODIS, river basin, global changes and transposition of the São Francisco River.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1: | Predição da passagem do MODIS | 5 |
| Figura 2: | Sistema WGS84 | 7 |
| Figura 3: | Coordenadas geodésicas e cartesianas | 7 |
| Figura 4: | Eixo leste da transposição do São Francisco – eixos, adutora e reservatórios | 9 |
| Figura 5: | Concepção geral da transposição do São Francisco – eixos, adutora, reservatórios | 10 |
| Figura 6: | Representação dos <i>tiles</i> h13/v09 e h14/v09 | 14 |
| Figura 7: | MRT, para conversão de dados HDF para HDR ou GEOTIFF | 14 |
| Figura 8: | Localização da bacia do Rio Pajeú | 29 |
| Figura 9: | Bacia do Pajeú-PE | 31 |
| Figura 10: | PCD's em Pernambuco | 33 |
| Figura 11: | Consulta específica ao banco de dados por mês/ano com filtros em alguns sensores | 34 |
| Figura 12: | Metodologia para NDVI e EVI | 36 |
| Figura 13: | Metodologia para Temperatura | 37 |
| Figura 14: | Metodologia para Albedo | 37 |
| Figura 15: | Bacia do Pajeú – PE, Janeiro de 2001 | 39 |
| Figura 16: | Bacia do Pajeú – PE, Janeiro 2009 | 40 |
| Figura 17: | Representação do índice de vegetação | 41 |
| Figura 18: | NDVI, Janeiro de 2001. R(red) G(ndvi) B(blue) | 42 |
| Figura 19: | NDVI, Janeiro de 2009. R(red) G(ndvi) B(blue) | 42 |
| Figura 20: | EVI, Janeiro de 2001. R(red) G(evi) B(blue) | 43 |
| Figura 21: | EVI, Janeiro de 2009. R(red) G(evi) B(blue) | 43 |
| Figura 22: | NDVI | 44 |
| Figura 23: | Temperaturas médias anuais e bacias hidrográficas de Pernambuco | 46 |
| Figura 24: | Temperaturas médias mensais e altimetria para o estado de Pernambuco | 47 |
| Figura 25: | Representação das temperaturas na Bacia Hidrográfica do Pajeú | 49 |
| Figura 26: | Gráfico dos dados MODIS/Terra na bacia do Pajeú em 2008 LST_Day 1º dia de cada mês | 51 |
| Figura 27: | Gráfico dos dados MODIS/Terra na bacia do Pajeú em 2008 LST_Day_Aggregated 1º dia de cada mês | 51 |
| Figura 28: | Gráfico dos dados MODIS/Terra na bacia do Pajeú em 2008 LST_Night 1º dia de cada mês | 52 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 29: | Gráfico dos dados MODIS/Terra na bacia do Pajeú em 2008 | 52 |
| | LST_Night_Aggregated 1º dia de cada mês | |
| Figura 30: | Comparação dos produtos para Janeiro e Agosto | 54 |
| Figura 31: | Albedo para Janeiro de 3001 e Janeiro de 2009 | 55 |
| Figura 32: | Albedo na área da transposição do Rio São Francisco | 56 |
| Figura 33: | Albedo e NDVI da bacia do Pajeú | 58 |
| Figura 34: | Rede Hidrográfica e Albedo | 59 |
| Figura 35: | Unidades Geoambientais na área da transposição | 61 |
| Figura 36: | Solos na área da transposição | 63 |
| Figura 37: | Aptidão agrícola | 64 |
| Figura 38: | Unidade de Paisagem | 65 |
| Figura 39: | Potencial de Irrigação | 66 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 1: | Parâmetros do WGS 84 | 5 |
| Tabela 2: | Especificações gerais do sensor MODIS | 11 |
| Tabela 3: | Características espaciais do espectrorradiômetro para 36 bandas | 11 |
| Tabela 4: | Especificações das camadas MOD13Q1 | 16 |
| Tabela 5: | Especificações das camadas MDC43B1 | 17 |
| Tabela 6: | Especificações das camadas MOD11B1 | 18 |
| Tabela 7: | Bandas Espectrais do MOD43B3 | 26 |
| Tabela 8: | Estações utilizadas para a bacia hidrográfica do Pajeú | 28 |
| Tabela 9: | Estações utilizadas para a bacia hidrográfica do Rio Pajeú | 43 |
| Tabela 10: | Dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 Produto LST_Day - o 1º dia de cada mês e dados do CPTEC da mesma data | 50 |
| Tabela 11: | Dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 -Produto LST_Day_Aggregated - o 1º dia de cada mês e dados do CPTEC da mesma data | 50 |
| Tabela 12: | Dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 - Produto LST_Night - o 1º dia de cada mês e dados do CPTEC da mesma data | 50 |
| Tabela 13: | Dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 - Produto LST_Night_Aggregated - o 1º dia de cada mês e dados do CPTEC da mesma data | 50 |
| Tabela 14: | Valores de vulnerabilidade/estabilidade para classes de solos | 50 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------------|---|
| AIRS | <i>Atmospheric Infrared Sounder</i> |
| AMSR-E | <i>Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS</i> |
| AMSU-A | <i>Advanced Microwave Sounding Unit-A</i> |
| ASTER | <i>Advanced Spaceborne Thermal emission and Reflection Radiometer</i> |
| AVHRR | <i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i> |
| CA | Córrego Alegre |
| CERES | <i>Clouds and Earth's Radiant Energy System</i> |
| CMT | Centro de Massa da Terra |
| CTP | <i>Conventional Terrestrial Pole</i> |
| CTRS | <i>Conventional Terrestrial Reference System)</i> |
| CZCS | <i>Coastal Zone Color Scanner</i> |
| EDOS | <i>EOS Data and Operation System</i> |
| EGM96 | <i>Earth Gravitational Model 1996</i> |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ENVI | <i>Environment for Visualizing Images</i> |
| EOS | <i>Earth Observing System</i> |
| ERSDAC | <i>Earth Remote Sensing Data Analysis Center</i> |
| EVI | <i>Enhanced Vegetation Index</i> |
| FPAR | Fração de Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa |
| GRS 80 | <i>Geodetic Reference System 1980</i> |
| GRS80 | <i>Geodetic Reference System 1980</i> |
| HDF | <i>Hierarchical Data Format</i> |
| HSB | <i>Humidity Sounder for Brazil</i> |
| IAF | Índice de Área Foliar |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IERS ITRS-PC | <i>International Earth Rotation Service ITRS Product Centre</i> |
| ITEP | Instituto Tecnológico de Pernambuco |
| ITRS | <i>International Terrestrial Reference System</i> |
| IVM | infravermelho médio |
| IVP | infravermelho próximo |
| IVT | infravermelho termal |
| LAMEPE | Laboratório de Metrologia de Pernambuco |
| LST | <i>Land Surface Temperature</i> |
| MISR | <i>Multi-angle Imaging Spectroradiometer</i> |

| | |
|-------------|---|
| MOCEAN | Produtos MODIS para o oceano |
| MODAPS | <i>MODIS Adaptive Processing System</i> |
| MODIS | <i>Moderate Resolution Spectroradiometer</i> |
| MODLAND | MODIS para ecossistema terrestre |
| MOPITT | <i>Measurement of Pollution in the Troposphere</i> |
| MRT | <i>MODIS Reprojection Tool</i> |
| NASA | <i>National Aeronautics and Space Administration</i> |
| NDVI | Índice de Vegetação por Diferença Normalizada |
| NGA | <i>National Geospatial-Intelligence Agency</i> |
| NIMA | <i>National Imagery and Mapping Agency</i> |
| NOAA | <i>National Oceanic and Atmosphere Administration</i> |
| NSIDC | <i>National Snow and Ice Data Center</i> |
| PCD | Plataforma de Coleta de Dados |
| SAD69 | <i>South American Datum 1969</i> |
| SCN | Sistema Cartográfico Nacional |
| SGB | Sistema Geodésico Brasileiro |
| SIRGAS 2000 | Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas |
| SLR | <i>Satellite Laser Range</i> |
| SR | Sensoriamento Remoto |
| SSC IERS | <i>Set of Stations Coordinates IERS</i> |
| TDRSS | <i>Tracking and Data Relay Satellite System</i> |
| UTC | <i>Universal Time Coordinate</i> |
| UTM | <i>Universal Transverse mercator</i> |
| VIS | região do visível |
| VLBI | <i>Very Long Baseline Interferometry</i> |
| WGS 84 | <i>World Geodetic System 84</i> |
| ZAPE | Zoneamento Agroecológico de Pernambuco |
| ZCIT | Zona de Convergência Intertropical |

1. INTRODUÇÃO

Vários modelos teóricos e documentos científicos de síntese sobre mudanças climáticas de especialistas mundiais, como os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, órgão das Nações Unidas, publicados desde 1988, têm sensibilizado governos e pesquisadores a disseminar métodos de obter dados sobre o monitoramento dos efeitos regionais causados pelas mudanças do clima sobre os recursos naturais como a água, solo e vegetação, fundamentais para o desenvolvimento sócio-econômico (COSTA e LAGES, 2008).

Estes efeitos, dentre outros, consistem desde anomalias da precipitação anual, degradação de solos, até as transformações na vegetação, representando um problema multi e interdisciplinar para a comunidade científica. Além da emissão de carbono para a atmosfera ser um dos componentes da análise para estudar as mudanças climáticas, outras ações antrópicas têm sido consideradas no cenário regional dos efeitos da variação do clima, tema essencial no planejamento em todos os níveis governamentais no Brasil (BUCKERIDGE, 2007).

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma tecnologia que permite monitorar água, solo e vegetação sobre extensas áreas. No caso da vegetação da Caatinga na região do Semi-Árido de Pernambuco, o SR possibilita o mapeamento atualizado da área e pode auxiliar em sua Gestão Ambiental.

O MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) foi concebido para análise de Mudanças Globais e está atualmente em órbita em dois satélites Terra e Aqua. O MODIS/Terra possui um horário de passagem às 10h e 30min (hora de Brasília) enquanto o MODIS/Aqua às 13h e 30min. Estes sensores possuem um conjunto de 36 bandas o que facilita a análise de um mesmo evento em horários de passagem diferentes.

A resolução espacial das imagens MODIS varia de 250m a 1km dependendo da banda ou produto a ser analisado. Com isto pode-se obter um mapeamento para grandes áreas em uma única imagem.

As imagens MODIS são distribuídas gratuitamente em formato HDF. Tanto as imagens do MODIS-Terra e como as imagens do Aqua estão no sistema WGS84, facilitando a representação para SIRGAS 2000.

Em RUDORFF et. Al. (2005), tem-se o estado de arte do uso dos dados do MODIS no Brasil. Destaca-se o desenvolvimento de metodologias e aplicações para agricultura, no estudo do meio ambiente, na hidrosfera, na atmosfera, e também em aplicações sócio-econômicas. Trabalhos como HEUTE et. al. (2002), LIANG et. al. (2002), FORMIGONI (2008) mostram a teoria e as aplicações das imagens MODIS.

Cardoso (2003) afirma que a política nacional de recursos hídricos, institui a bacia hidrográfica como unidade de gestão, este trabalho utiliza-se a bacia hidrográfica do Rio Pajeú – PE como área a ser analisada.

As imagens MODIS Terra e Aqua possuem alta resolução espectral e temporal sendo adequadas a estudo de grandes bacias hidrográficas. Além disto, em uma única imagem pode estar contida toda uma bacia hidrográfica, como é o caso do exemplo aqui estudado.

O traçado previsto no projeto de transposição do Rio São Francisco do Ministério da Integração Nacional do Eixo Leste, abrange uma pequena porção da bacia hidrográfica do Rio Pajeú, e fornecerá a possibilidade de uso da água para irrigação e uso doméstico. Esta obra poderá influenciar na expansão urbana, alteração da vegetação nativa e na agricultura da área. Mapas de solo, de albedo, NDVI, temperatura entre outros podem auxiliar o monitoramento do uso e ocupação do solo na escala da bacia do Rio Pajeú.

O MODIS disponibiliza produtos denominados MODLAND para estudos de ecossistemas terrestres. Estes produtos estão relacionados com o balanço de energia, e cobertura terrestre. Os produtos MODIS MOD13Q1, MOD43B3 e MOD11 foram analisados para a bacia hidrográfica do Rio Pajeú, no estado de Pernambuco e forneceram respectivamente o mapeamento para NDVI, EVI, albedo e temperatura da área analisada

Na bacia, foi utilizado um mapa com a transposição do Rio São Francisco do eixo leste e uma área de influência direta obtidos de CIRILO (2009). Foi gerado um plano de informação a partir deste mapa contendo a transposição e esta área de influencia. Este plano foi superposto aos produtos MODIS (NDVI e albedo), imagem TM-Landsat, NDVI obtido deste sensor. Os mapas gerados com o Zoneamento Agro-ecológico (ZAPE): tipos de solo, potencial para agricultura e potencial de irrigação também foram superpostos ao plano de informação do eixo leste da transposição e sua área de influencia. Em seguida comparou-se os resultados e percebeu-se que naquela região, áreas com albedo alto/NDVI

baixo merecem um cuidado especial. Além disto os solos presentes, potencial para agricultura e irrigação são variáveis importantes na análise.

A gestão do fornecimento d' água na área de influencia direta do eixo leste de transposição para irrigação deve ser acompanhada de um estudo de seu potencial para agricultura, dos tipos de solos presentes e de produtos multitemporais como os que o MODIS fornece.

Destaca-se que esta dissertação é a primeira na UFPE a utilizar o sensor MODIS para extrair NDVI e EVI e obter albedo e temperatura do solo e vegetação de uma bacia hidrográfica inteira no estado de Pernambuco.

A escala do MODIS com o pixel de 500 m é compatível com a escala de mapas climatológicos e meteorológicos e mapas de bacias hidrográficas.

1.1 – Objetivo Geral

O objetivo deste estudo consiste em mapear o comportamento espacial de variáveis como NDVI, EVI, temperatura e albedo, observando a distribuição e densidade destes parâmetros em um estudo de caso da bacia do Rio Pajeú, uma área que sofre com diversos fatores tanto naturais quanto antrópicos, entre estes pode-se destacar que a área da bacia será diretamente influenciada pela transposição do Rio São Francisco.

1.2 – Objetivos Específicos

- Avaliar o grau de correlação espacial do comportamento espacial dos parâmetros físicos com outras informações espaciais de interesse, a exemplo do potencial de irrigação, aptidão agrícola e determinados solos, e dados de temperaturas de estações meteorológicas.
- Indicar as áreas onde a correlação espacial entre parâmetros físicos e informações espaciais é maior na faixa de influência direta da transposição do Rio São Francisco.
- Analisar a variação e comportamento da vegetação, da temperatura e do albedo na área da bacia a partir de imagens multitemporais MODIS;

2. GEODÉSIA E O SISTEMA WGS 84

No mapeamento de NDVI, EVI, albedo e temperatura com o MODIS é necessário incorporar a teoria da Geodésia já que o mapeamento é para grandes áreas, no caso uma bacia hidrográfica do estado de Pernambuco.

Mostra-se aqui as bases do sistema WGS-84 (*World Geodetic System - 1984*), pois as imagens do sensor MODIS são georreferenciadas neste sistema.

2.1 – Elementos da Geodésia

A Geodésia é uma ciência que torna o posicionamento global possível, consiste em medições e monitoramento do tamanho e forma da Terra e a localização de pontos sobre sua superfície (TORGE, 2001).

A superfície da Terra é levemente esférica com um raio de aproximadamente 6.378 km e com uma superfície irregular. Por se tratar de um elemento complexo, geodestas desenvolveram modelos matemáticos simplificados da Terra (SMITH, 1996).

Para realizar medições na superfície terrestre e minimizar problemas causados pela irregularidade desta, geodestas optaram por utilizar uma superfície matemática teórica chamada elipsóide.

O elipsóide consiste em um modelo matemático desenvolvido para atender a necessidade que os geodestas possuem para representar a realidade da superfície terrestre. O elipsóide é uma forma de representação referente a média global do nível do mar foi criada, que considera que a superfície terrestre é uma média entre as marcas de marés alta e baixa.

2.2– Imagens MODIS e os sistemas WGS84 e SIRGAS

Uma cena do MODIS (10° x 10°, aproximadamente 1102 x 1102 km na latitude de 8° onde se encontra o estado de Pernambuco) é mais que suficiente para cobrir toda a bacia hidrográfica do Rio Pajeú que, no sentido SW-NE, apresenta sua linha de extensão geográfica máxima de aproximadamente 238,6 Km. A bacia do Rio Pajeú está localizada no

sistema de projeção UTM entre o meridiano central -39° e o meridiano de -37° e contida nas zonas UTM 24L e 25L, o que possibilita a adoção do sistema de projeção UTM na cobertura do mapeamento temático da área de estudo em um único mapa. A propriedade de conformidade do sistema UTM de uma carta-imagem é consistente com o zoneamento de índices físicos na superfície terrestre onde os ângulos e a forma das áreas são preservados. A Figura 1 mostra a previsão da passagem e trajetória do sistema sensor TERRA projetada sobre a superfície terrestre (horários em UTC, *Universal Time Coordinate*).



Figura 1 – Predição das passagens do MODIS.

O WGS84 (*World Geodetic System 1984*) foi desenvolvido pelo NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*) atual NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*). A origem do WGS 84 é o centro de massa da Terra (incluindo atmosfera e oceanos) onde os eixos **X**, **Y** e **Z** são idênticos ao do CTRS (*Conventional Terrestrial Reference System*) definido pelo *Bureau International de L'Heure* (MONICO, 2000) para a época 1984. Os parâmetros do WGS 84 estão na Tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros do WGS84.

| Parâmetro e valor | | Descrição |
|---|--|----------------------------------|
| a =6378137 m | Igual ao anterior | Semi-eixo maior |
| F =1/298,2572221 | 1/298,257223563 | Achatamento |
| ω_c = 7292115 . 10 ⁻⁸ rad/s | Igual ao anterior | Velocidade angular da Terra |
| GM =3986005 . 10 ⁸ m ³ /s ² | 3986004,418 . 10 ⁸ m ³ /s ² | Constante gravitacional da Terra |

Determinados parâmetros relacionados ao WGS 84 mudaram em função do seu refinamento (MONICO, 2007).

Segundo MONICO (2007), MONICO (2005), FREITAS et al. (2004, a realização G-1150 do WGS 84 pode ser considerada como equivalente do ITRF-2000 podendo, para efeitos práticos da Cartografia serem consideradas equivalentes.

Segundo o IBGE (2005) a Resolução 1/2005 da Presidência do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) estabelece o novo Sistema de Referência Geodésico para o SCN (Sistema Cartográfico Nacional) o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS 2000). Para o SGB (Sistema Geodésico Brasileiro) O SIRGAS 2000 pode ser usado em concomitância com o SAD69 (*South American Datum 1969*) e CA (Córrego Alegre), procedimento que tem a finalidade de oferecer um período de transição antes da utilização do SIRGAS 2000.

O SIRGAS 2000 tem como Sistema Geodésico de Referência o ITRS (*International Terrestrial Reference System*) cujos parâmetros principais são os do elipsóide GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*): $a = 6378137$ m e $f = 1/298,257222101$

Segundo SEEBER (2003) as discrepâncias entre os parâmetros SIRGAS 2000 e WGS 84 em sua primeira realização, estão dentro da acurácia, $\pm 0,5$ e $\pm 1,0$ m. As novas versões do WGS 84 têm acurácia compatível com as realizações atuais do ITRS, que é um sistema de referência espacial tendo origem no centro de massa da Terra e orientação equatorial. As realizações do ITRS são geradas pelo IERS ITRS-PC (*International Earth Rotation Service ITRS Product Centre*) e consistem de um catálogo de coordenadas e velocidades de um grupo de estações SSC IERS (*Set of Stations Coordinates IERS*), obtidos por metodologias de medição VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), GPS, SLR (*Satellite Laser Range*), além de outros métodos detalhados em MONICO (2005).

A Figura 2 representa o sistema WGS 84, onde CMT é o centro de massa da Terra, origem do sistema tendo os eixos X, Y e Z idênticos ao do CRTS: o eixo Z aponta na direção do CTP (*Conventional Terrestrial Pole*), o eixo X na direção média do meridiano de Greenwich e Y está orientado de maneira que seja dextrogiro, sendo utilizadas as coordenadas geodésicas adotando-se o elipsóide GRS 80 (*Geodetic Reference System 1980*).

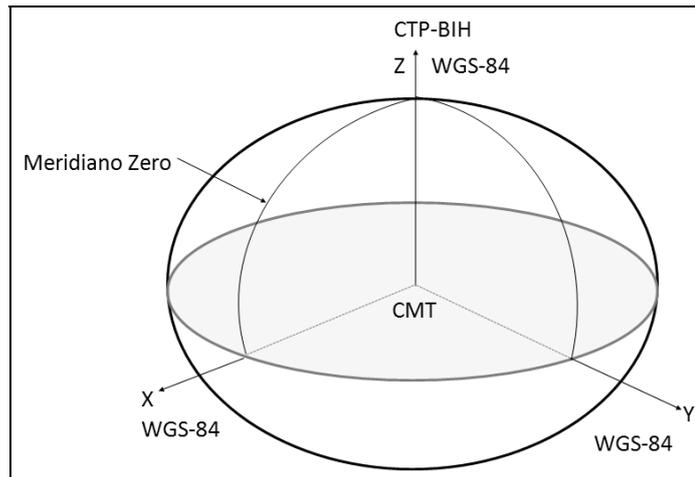


Figura 2 – Sistema WGS 84. Adaptado de MONICO (2000).

O sistema WGS 84 ainda é composto pelo geóide EGM96 (*Earth Gravitational Model 1996*) para referenciar as alturas geoidais.

A Figura 3 mostra um elipsóide com mesma origem de um sistema de coordenadas cartesianas X, Y e Z, sendo as coordenadas geodésicas latitude φ e longitude λ , e a altitude elipsoidal h , para posicionar um ponto **P** na superfície física da Terra. Na Figura 5, **a** é o semi-eixo maior do elipsóide, e **b** o semi-eixo menor.

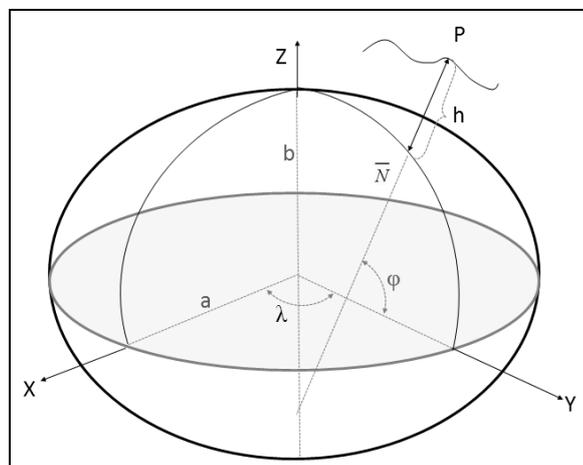


Figura 3 – Coordenadas geodésicas e cartesianas. Adaptado de MONICO (2000).

Na comparação dos dados ZAPE com os produtos MODIS e imagem TM foram gerados mapas em SAD69. Mostra-se então a conversão das coordenadas geodésicas WGS 84 em cartesianas (Monico, 2000) SAD69 e vice-versa:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SAD69} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS84} - \begin{bmatrix} -66,87 \\ 4,37 \\ -38,52 \end{bmatrix}_m$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SAD69} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SIRGAS\ 2000} - \begin{bmatrix} -66,35 \\ 3,88 \\ -38,22 \end{bmatrix}_m$$

3. TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

O eixo leste da transposição do Rio São Francisco abrange um pequeno trecho da bacia hidrográfica do Rio Pajeú, como pode ser visto na Figura 4 (linha verde cruzando a bacia e a área de inclusão social também em verde e aqui denotada por área de influência direta).

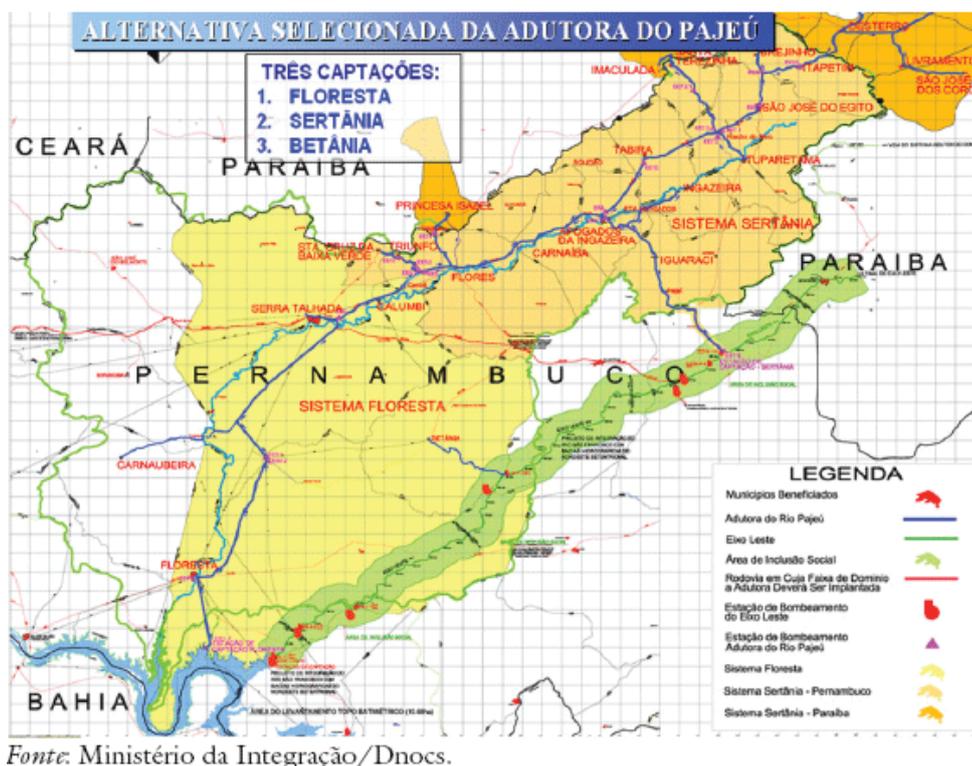


Figura 4 – Eixo leste da transposição do São Francisco. Fonte: CIRILO (2009).

BISWAS (1998) destaca três tipos de sistema envolvidos:

- O sistema físico: a quantidade e a qualidade da água, as implicações sobre os solos e a atmosfera;
- O sistema biológico: o ambiente aquático e a biodiversidade em geral; e
- O sistema humano: produção e impactos sócio-culturais.

As imagens de sensoriamento remoto e parâmetros como: NDVI, EVI, albedo e temperatura gerados a partir delas e comparados e/ou cruzados a outros dados espaciais e não espaciais fornecem informações gestão ambiental da área da transposição.

A Figura 5 apresenta um exemplo do esquema do projeto de transposição do São Francisco, mostrando os Eixos Norte e Leste, estruturas principais do sistema, bem como os reservatórios que deverão receber as águas e o traçado aproximado das adutoras a serem interligadas. Segundo CIRILO (2009), no Estado de Pernambuco, os eixos Norte e Leste, servirão de fonte hídrica para sistemas adutores existentes ou em projeto. O estudo aqui mostrado pode ser estendido as outras bacias envolvidas no projeto geral da transposição envolvendo também as adutoras a serem interligadas e suas respectivas áreas de influência direta em Pernambuco e em outros estados.

Maiores detalhes sobre a transposição do Rio São Francisco podem ser encontrados no Ministério da Integração Nacional que disponibiliza a partir do site <http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/documentos/index.asp> documentos oficiais sobre o assunto.

Nesta dissertação utiliza-se o traçado e a área de influência da Figura 5 para analisar os resultados da área direta de influência com as imagens MODIS e dados do ZAPE (EMBRAPA) e imagem TM/Landsat.

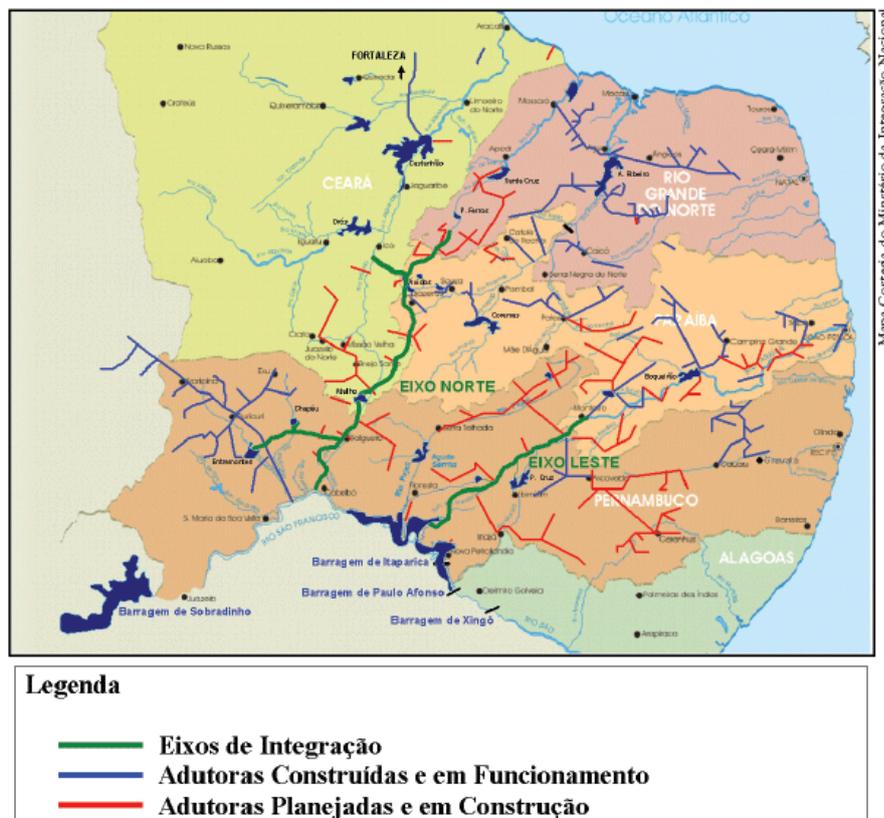


Figura 5 – Concepção geral da transposição do São Francisco – eixos, adutora, reservatórios. Fonte: CIRILO (2009).

4. SENSOR MODIS

O sensor MODIS é um elemento chave a bordo dos satélites Terra e Aqua que adquirem dados da superfície terrestre a cada 1 ou 2 dias, a órbita do satélite Terra é cronometrada para passar de norte a sul do planeta ao longo da linha do Equador no período da manhã, enquanto a órbita do satélite Aqua passa do sul ao norte durante o período da tarde (JUSTICE et. al., 2002). Um detalhamento sobre o histórico deste sensor, plataforma terra e aqua podem ser vistos no anexo1.

Este sensor foi projetado para fornecer série de observações globais da superfície terrestre, oceano e atmosfera nas regiões do VIS e do IV (infravermelho) do espectro eletromagnético. A importância do sensor MODIS dentro do EOS é destacada pelo fato de este se apresentar a bordo de duas plataformas. A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam as especificações técnicas do MODIS (SOARES et. al., 2007).

Tabela 2 - Especificações gerais do sensor MODIS.

| | |
|------------------------------------|---|
| Taxa de varredura | 20 rpm, ortogonal a órbita |
| Cobertura de repetição do satélite | Diária, a norte da latitude de 30° e a cada dois dias, latitudes inferiores a 30° |
| Cobertura de imageamento do sensor | ± 55°; 2330 km ("scans" contínuos do nadir no Equador) |
| Precisão radiométrica do sensor | 5% Absoluto, <3 µm; 1% Absoluto, >3 µm; 2% de reflectância |
| Quantização do sensor | 12 bits |
| Faixa de dados do satélite | 6,2 Mbps (média), 10,8Mbps (dia), 2,5 Mbps (noite) |
| Potência do satélite | 162,5W (média para uma órbita), 168,5W (pico) |
| Telescópio | 17,78 cm diâmetro, sem eixo único, focos separados, com planos de desvio intermediários |
| Tamanho | 1,0 x 1,6 x 1,0m |
| Peso | 228,7 Kg |
| Quantização | 12 bits |
| Resolução Espacial | 250 m (bandas 1-2) |
| | 500 m (bandas 3-7) |
| | 1000m (bandas 8-36) |
| Vida útil | 6 anos |

Fonte: adaptado de JUSTICE et al., 2002; adaptado de SOARES et al, 2007.

Tabela 3 - Características espaciais do espectrorradiômetro para as 36 bandas.

| Banda (n°) | Intervalo de Banda (nm) | Radiância Espectral (W/m ² -mm-sr) | Usos Principais | Tamanho do Pixel (m) | Pixels na Imagem | Número de linhas na imagem |
|------------|-------------------------|---|------------------------------------|----------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 620-670 | 21.8 | Limites da Terra, Nuvens Aerosoles | 250 | 5416 | >20000 |
| 2 | 841-876 | 24.7 | | | | |
| 3 | 459-479 | 35.3 | Propriedades da | 500 | 2708 | >10000 |

| | | | | | | |
|----|-------------------|------------|--|------|------|-------|
| 4 | 545-565 | 29.0 | Terra, Nuvens Aerosoles | | | |
| 5 | 1.230-1.250 | 5.4 | | | | |
| 6 | 1.628-1.652 | 7.3 | | | | |
| 7 | 2.105-2.155 | 1.0 | | | | |
| 8 | 405-420 | 44.9 | Biogeoquímica, Cor do Oceano, Fitoplâncton | | | |
| 9 | 438-448 | 41.9 | | | | |
| 10 | 483-493 | 32.1 | | | | |
| 11 | 526-536 | 27.9 | | | | |
| 12 | 546-556 | 21.0 | | | | |
| 13 | 662-672 | 9.5 | | | | |
| 14 | 673-383 | 8.7 | | | | |
| 15 | 743-753 | 10.2 | | | | |
| 16 | 862-877 | 6.2 | Vapor de água atmosférico | | | |
| 17 | 890-920 | 10.0 | | | | |
| 18 | 931-941 | 3.6 | | | | |
| 19 | 915-965 | 15.0 | Temperatura de Superfície e nuvens | | | |
| 20 | 3.660-3.840 | 0.45(300K) | | | | |
| 21 | 3.929-3.989 | 2.38(335K) | | | | |
| 22 | 3.929-3.989 | 0.67(300K) | | | | |
| 23 | 4.020-4.080 | 0.79(300K) | Temperatura Atmosférica | | | |
| 24 | 4.433-4.498 | 0.17(250K) | | | | |
| 25 | 4.482-4.589 | 0.59(275K) | Vapor de água e nuvens Cirrus | 1000 | 1354 | >5000 |
| 26 | 1.360-1.390 | 6.0 | | | | |
| 27 | 6.535-6.895 | 1.16(240K) | | | | |
| 28 | 7.175-7.475 | 2.18(250K) | Propriedade das nuvens | | | |
| 29 | 8.400-8.700 | 9.58(300K) | | | | |
| 30 | 9.580-9.880 | 3.69(250K) | Ozônio | | | |
| 31 | 10.780- 11.280 | 9.55(300K) | Temperatura da superfície, Nuvens | | | |
| 32 | 11.770- 12.270 | 8.94(300K) | | | | |
| 33 | 13.185- 13.485 | 4.52(260K) | Altitude máxima das nuvens | | | |
| 34 | 13.485- 13.785 | 3.76(250K) | | | | |
| 35 | 13.485- 13785 | 3.11(240K) | | | | |
| 36 | 14085- 14785 | 2.08(220K) | | | | |

Fonte: BARKER et. al.,1992.

4.1 – Os produtos MODIS

Os dados MODIS, assim como os dos demais instrumentos a bordo do satélite Terra, são transferidos para estações terrestres localizadas em *White Sands*, no estado Americano do Novo México via TDRSS (*Tracking and Data Relay Satellite System*) que são transmitidos para o EOS *Data and Operation System* (EDOS) onde ocorre o processamento, que é dividido em cinco níveis (0 a 4), que variam de acordo com o processamento a ser realizado (NASA, 2002).

Os produtos de níveis mais elevados são produzidos pelo MODAPS (*MODIS Adaptive Processing System*) e distribuídos em três outros centros DAACs (JUSTICE et. al., 2002). A seguir detalha-se os produtos no nível 0, 1, 2, 3 e 4.

O nível 0 não é disponibilizado aos usuários por se tratar da imagem na sua forma bruta, sem qualquer processamento prévio (NASA, 2002).

O nível 1 é dividido em duas fases, a conhecida por 1A descompacta as informações do nível 0 recebido pelo EDOS, organiza estes dados de acordo com a orientação em que foram escaneados, soma dos 36 canais MODIS, gerando dados de geolocalização e com a adição de metadata que descreve o dado (SHIMIZU, et. al., 1997). O nível 1B contém dados de calibração e geolocalização de abertura de radiância para as 36 bandas geradas no nível 1A (ANDERSON et. al., 2004) além de cobertura de nuvens a dados atmosféricos.

O nível 2 é derivado das radiâncias calibradas de produtos MODIS e armazenados em um espaço original do sensor (JUSTICE, 1998). Os produtos do nível 2G (L2G) são gerados a partir de dados do nível 2, reorganizados e armazenados em uma grade baseada na Terra (*Earth-based grid*) (WOLFE et. al, 1998).

Os produtos do nível 3 são reamostrados espacialmente e ponderadamente ou temporariamente compostos, produzindo uma estimativa única de uma variável geofísica para cada local da grade.

Os produtos do nível 4 são gerados por incorporação dos dados MODIS em modelos de estimativa de variáveis geofísicas (MASUOKA et. al., 2001).

Os produtos MODIS são de acesso gratuito podendo ser adquiridos via FTP, CD-ROM ou DVD, pelo site <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>. As menores unidades dos níveis 2, 3 e 4 se apresentam em formato de *tile*, que consiste em uma área geocodificada de 1.200 x 1.200 Km, como mostra a Figura 6, com destaque em vermelho para região do *tile* correspondente a h13 v09 e h14 v09 que compreende os *tiles* que cobrem a área do Estado de Pernambuco.

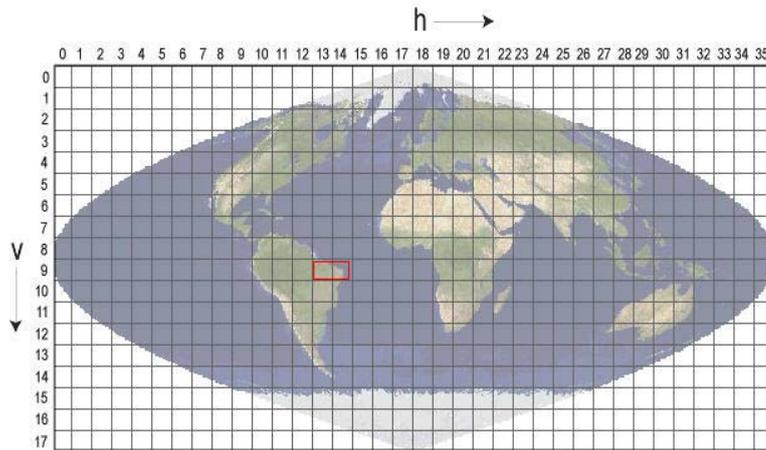


Figura 6 – Representação de dois *tiles*, h13v09 e h14v09 (retângulo em vermelho).

O tratamento dos dados MODIS é realizado em programas específicos desenvolvidos pela NASA, disponíveis gratuitamente, um exemplo é o MRT (*MODIS Reprojection Tool*) mostrado na Figura 7, disponibilizado no endereço [http:// edcdaac.usgs.gov/tools/modis/](http://edcdaac.usgs.gov/tools/modis/).

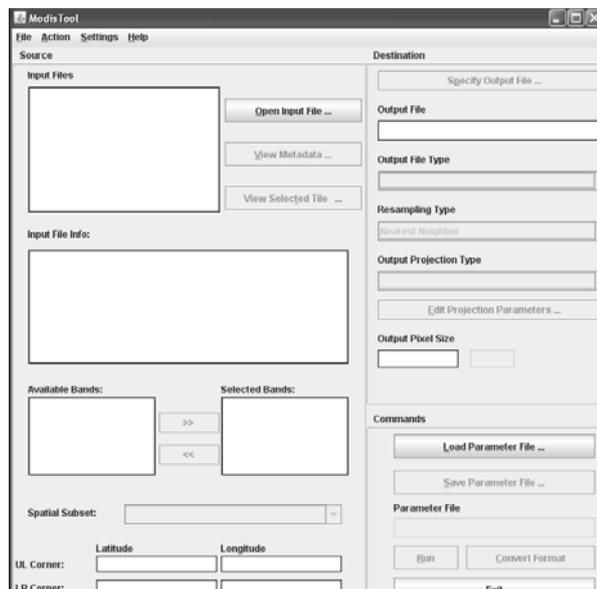


Figura 7 – MRT, para conversão de dados HDF para HDR ou GEOTIFF.

As características gerais do MODIS permitiram a geração de 44 produtos para diferentes tipos de pesquisas, que são (SOARES et al, 2007):

(a) Calibração

MOD01 – Valores de radiância do nível 1A

MOD02 – Valores de radiância calibrada e georreferenciada no nível 1B

MOD03 – Conjunto de dados georreferenciados

(b) Atmosfera

MOD04 – Produto de aerossol

MOD05 – Total de água precipitável

MOD06 – Produto de nuvem

MOD07 – Perfil atmosférico

MOD08 – Grades de produtos atmosféricos

MOD35 – Máscara de nuvem

(c) Continente

MOD09 – Reflectância de superfície

MOD11 – Temperatura de superfície e emissividade

MOD12 – Cobertura da Terra/mudança da cobertura da Terra

MOD13 – Grades de índice de vegetação – Máximo NDVI e MVI integrado

MOD14 – Anomalias termais, fogo e queima de biomassa

MOD15 – Índice de área foliar e fração de radiação fotossinteticamente ativa

MOD16 – Evapotranspiração

MOD17 – Fotossíntese líquida e produtividade primária

MOD43 – Função de distribuição da reflectância bidirecional (BRDF) e albedo

MOD44 – Mudança da cobertura vegetal

(d) Criosfera

MOD10 – extensão de cobertura de neve

MOD29 – extensão de gelo na superfície do mar

(e) Oceano

MOD18 – Radiância normalizada proveniente de corpos d'água

MOD19 – Concentração de pigmentos

MOD20 – fluorescência da clorofila

MOD21 – Concentração de pigmento de clorofila_a

MOD22 – Radiação fotossinteticamente ativa

MOD23 – Concentração de partículas sólidas

MOD24 – Concentração de matéria orgânica

MOD25 – concentração de plancto calcáreo

- MOD26 – Coeficiente de atenuação da água do mar
- MOD27 – Produtividade primária do oceano
- MOD28 – Temperatura da superfície do mar – TSM
- MOD31 – Concentração de pigmentos de algas vermelhas
- MOD36 – Coeficiente de absorção total
- MOD37 – Propriedade de aerossol oceânico
- MOD39 – Grau e pureza de águas claras

Para estudos de ecossistemas terrestres têm-se os produtos denominados MODLAND. Os produtos relacionados ao balanço de energia que são de interesse na pesquisa são: MOD09, MOD11, MOD43. Já para os produtos relacionados a vegetação tem-se: MOD13, MOD15 e MOD17. Para o caso da cobertura terrestre tem-se: MOD12, MOD14 e MOD44. Os produtos MOD11, MCD43 e MOD13 são tratados com mais detalhes a seguir:

O MOD11 é um produto do nível 2 que fornece dados de temperatura da superfície terrestre (LST – *Land Surface Temperature*) e emissividade (E) diárias da superfície terrestre com resolução espacial de 1 Km, este é composto por LSTs diurnos e noturnos, qualidade de avaliação, tempos de observação, ângulos de visada, cobertura de céu claro e emissividades estimadas nas bandas 31 e 32 para tipos de cobertura do solo (NASA, 2002).

As variáveis contidas neste produto são aplicadas a diversos estudos que descrevem os processos da superfície terrestre, dentre eles cabe destacar estudos climáticos, hidrológicos, ecológicos e biológicos (LATORRE et. al., 2007).

A área de cobertura é de aproximadamente 1100 x 1100 Km, com projeção Sinusoidal e formato HDF e 1200 x 1200 linhas/colunas, além de 12 camadas, como descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Especificações das camadas do MOD11Q1

| Conjunto da Dados (camadas HDF) | Unidade | Escala Válida | Multiplicar pelo fator de escala |
|---|----------------|----------------------|---|
| LST_Day_1km: Daily daytime 1km grid land surface temperature | Kelvin | 7500–65535 | 0.02 |
| QC_Day: Quality control for daytime LST and emissivity | Campo do Bit | 0–255 | Na |
| Day_view_time: Time of daytime land surface temperature observation | Hora | 0–240 | 0.1 |

| | | | |
|---|--------------|------------|-----------------|
| Day_view_angle: View zenith angle of daytime land surface temperature | Grau | 0–130 | 1 (- 65) |
| LST_Night_1km: Daily nighttime 1km grid land surface temperature | Kelvin | 7500–65535 | 0.02 |
| QC_Night: Quality control for nighttime LST and emissivity | Campo do Bit | 0–255 | Na |
| Night_view_time: Time of nighttime land surface temperature observation | Hora | 0–240 | 0.1 |
| Night_view_angle: View zenith angle of nighttime land surface temperature | Grau | 0–130 | 1 (-65) |
| Emis_31: Band 31 Emissivity | Nenhum | 1–255 | 0.0020 (+ 0.49) |
| Emis_32: Band 32 Emissivity | Nenhum | 1–255 | 0.0020 (+ 0.49) |
| Clear_day_cov: day clear sky coverage | Nenhum | 1–65535 | 0.00004 |
| Clear_night_cov: night clear sky coverage | Nenhum | 1–65535 | 0.00004 |

Fonte: Adaptado de NASA, 2008.

O MCD43 contém um conjunto de dados da distribuição da função da reflectância (BRDF) tridimensional que contém parâmetros usados para derivar o Albedo, que é definido como a fração de energia incidente que é refletida pela superfície e que volta para a atmosfera (LATORRE et. al., 2007).

Este produto é uma combinação dos satélites Terra e Aqua, proporcionando maior qualidade aos dados. Cobre uma área de 10 x 10 lat/long com projeção Sinusoidal, formato HDF e 1200 x 1200 linhas/colunas, além de 12 camadas, especificadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Especificações das camadas do MCD43B1

| Conjunto da Dados (camadas HDF) | Dimensão 3D | Unidade | Faixa Válida | Multiplicar pelo fator de escala |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------------|
| BRDF_Albedo_Parameters_Band1 | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 | 0.0010 |
| BRDF_Albedo_Parameters_Band2 | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 | 0.0010 |
| BRDF_Albedo_Parameters_Band3 | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 | 0.0010 |
| BRDF_Albedo_Parameters_Band4 | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 | 0.0010 |
| BRDF_Albedo_Parameters_Band4 | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 | 0.0010 |
| BRDF_Albedo_Parameters_Band5 | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 | 0.0010 |
| BRDF_Albedo_Parameters_Band6 | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 0.0010 | 0.0010 |
| BRDF_Albedo_Parameters_Band7 | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 | 0.0010 |
| BRDF_Albedo_Parameters_vis | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 | 0.0010 |
| BRDF_Albedo_Parameters_nir | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem | 0–32766 | 0.0010 |

| | | unidades | | |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------|------------------------------------|
| BRDF_Albedo_Parameters_short wave | Parâmetro 3D (iso, vol, geo) | Reflectância, sem unidades | 0–32766 | 0.0010 |
| BRDF_Shape_Indicators | Campo com formato 3D | Razão ou coeficiente, sem unidades | 0–254 | 0.04, mais Offset adicional = 25.0 |

Fonte: Adaptado de NASA, 2008.

O MOD13 foi desenvolvido para fornecer informações consistentes sobre condições da vegetação a partir de comparações espaciais e temporais, contendo bandas do azul, do vermelho e infravermelho próximo, seus dados são disponibilizados a cada 16 dias com uma resolução espacial de 250 m.

Este produto é obtido pelo sensor Terra. Cobre uma área de 1100 x 1100 km com projeção Sinusoidal, formato HDF e 200 x 200 linhas/colunas, além de 18 camadas, especificadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Especificações das camadas do MOD13Q1

| Conjunto da Dados (camadas HDF) | Unidade | Faixa Válida | Multiplicar pelo fator de escala |
|---|-----------------------|-------------------------|---|
| 250m 16 days NDVI | NDVI | -2000, 10000 | 0.0001 |
| 250m 16 days EVI | EVI | -2000, 10000 | 0.0001 |
| 250m 16 days VI Quality detailed QA | Bits | 0, 65534 | - |
| 250m 16 days red reflectance (Band 1) | Reflectância | 0, 10000 | 0.0001 |
| 250m 16 days NIR reflectance (Band 2) | Reflectância | 0, 10000 | 0.0001 |
| 250m 16 days blue reflectance (Band 3) | Reflectância | 0, 10000 | 0.0001 |
| 250m 16 days MIR reflectance (Band 7) | Reflectância | 0, 10000 | 0.0001 |
| 250m 16 days view zenith angle | Graus | -9000, 9000 | 0.01 |
| 250m 16 days sun zenith angle | Graus | -9000, 9000 | 0.01 |
| 250m 16 days relative azimuth angle | Graus | -3600, 3600 | 0.1 |
| 250m 16 days composite day of the year | Dia Juliano do ano | 1, 366 | - |
| 250m 16 days pixel reliability summary QA | Rank | 0, 3 | - |

Estes produtos são todos armazenados em formato HDF, que será tratado com mais detalhes na próxima seção. Mais informações sobre os produtos MODIS podem ser adquiridas em https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table.

4.2 – Formato HDF

O formato de dados HDF (*Hierarchical Data Format*) foi estabelecido como padrão para hospedar o modelo de dados implementado pela EOS a partir de estudos realizados pela NASA. Estes arquivos se autodescrevem, facilitando entendimento de sua estrutura e do seu conteúdo (JUSTICE et. al., 2002).

Este formato foi escolhido como base dos formatos dos sensores do satélite Terra devido à:

- Suporte a múltiplos tipos de dados;
- Portabilidade;
- Facilidade de uso e implementação;
- Tanto a documentação quanto os programas HDF para conversão de dados são gratuitos e de fácil acesso devido a disponibilidade na internet; e
- Disponibilidade de ferramentas para manipulação e visualização dos dados em HDF.

Os arquivos HDF possuem uma nomenclatura padrão, o prefixo **MOD** é o reservado para arquivos provenientes do satélite Terra, e **MYD** trata do prefixo reservado para designar os produtos da plataforma Aqua, por exemplo:

- MOD##.AYYYYDDD.HHMM.VVV.YYYYDDHMMSS.hdf,
- MYD##.AYYYYDDD.HHMM.VVV.YYYYDDHMMSS.hdf, ou
- MCD##.AYYYYDDD.HHMM.VVV.YYYYDDHMMSS.hdf

onde:

MOD## = o nome do tipo de dado da ciência terrestre do satélite Terra;

MYD## = o nome do tipo de dado da ciência terrestre do satélite Aqua;

MCD## = o nome do tipo de dado da ciência terrestre da composição dos dois sensores;

A = a data de aquisição;
YYYYDDD = o ano da aquisição e o dia Juliano;
VVV = versão da coleção;
YYYYDDHHMMSS = data e hora do processamento;
.hdf = sufixo que denota o arquivo HDF.

Deve-se observar que todos os horários estão em UTC, que é um padrão internacional de tempo mantido pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas, e não horário local.

Mais informações sobre o formato HDF podem ser obtidas em <http://hdf.nasa.uiuc.edu> ou <http://hdfeos.gsfc.nasa.gov> respectivamente.

5. NDVI E EVI, TEMPERATURA E ALBEDO COM O SENSOR MODIS

O MODIS tem como objetivo fornecer uma longa série de observações, pesquisas e análises a nível global de forma compreensiva sobre a superfície terrestre, o oceano e a atmosfera (KAUFMAN et al., 1998) nas faixas espectrais do visível e do infravermelho.

Os produtos MODIS também podem ser divididos em produtos para ecossistemas terrestres (MODLAND), produtos para oceano (MOCEAN) e produtos para atmosfera (MODIS *Atmosphere*). Estes produtos permitem que o MODIS seja utilizado nas mais diversas aplicações (RUDORFF et. al, 2005).

Na agricultura, suas aplicações variam entre estimativa de produtividade agrícola de soja, estimativas de índices de vegetação (IVs) de arroz irrigado, classificação de soja, estimativas de áreas plantadas, avaliação de índice de área foliar (IAF), detecção de geada em lavouras, etc (RIZZI e RUDORFF, 2005).

No meio ambiente, as aplicações se apresentam em forma de classificação espectro-temporal de formações vegetais, monitoramento de unidades de conservação e da cobertura terrestre e suas alterações antrópicas, modelagem de radiação solar incidente, estimativas de fração de radiação solar fotossinteticamente ativa (FPAR), entre outros (ANDERSON et. al., 2007).

As aplicações na hidrosfera incluem monitoramento de áreas alagáveis, estudos de sistemas aquáticos e estimativas de produtividades primárias oceânicas.

Sobre as aplicações na atmosfera, pode-se ressaltar a estimativa de aerossóis, interferência nos perfis atmosféricos, recuperação de propriedades físicas e radiativa das nuvens, etc (CORREIA et. al, 2007).

Neste capítulo serão tratadas algumas aplicações do sensor MODIS com mais detalhes, como aplicação do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), estimativa de temperatura e albedo na bacia hidrográfica do Pajeú para avaliação do processo de desertificação como é recomendado por Lopes(2005). As seções 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam respectivamente o NDVI e EVI, temperatura e albedo citando os produtos MODIS aplicados a estes casos.

5.1 – Índice de Diferença Normalizada (NDVI) e Realce da Vegetação (EVI)

A resposta espectral da vegetação é determinada não somente por suas características mais comuns, mas também pela interferência de diversos fatores como: radiação solar, espalhamento atmosférico, características de folha e dossel, teores de umidade reflectância do solo, entre outros (HEUTE et. al., 2002). Portanto, o monitoramento da cobertura vegetal é resultado de um processo complexo que abrange parâmetros e fatores ambientais (PONZONI, 2001).

Os índices de vegetação (IVs) minimizam variações oriundas de fatores externos e mostram uma quantificação da área vegetada (SAMPAIO, 2007). Áreas com solo exposto terão valores baixos de índice de vegetação. Já para áreas densamente vegetadas irão apresentar altos índices de vegetação.

Os IVs mais utilizados fazem uso de informações contidas nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, sendo os mais comuns o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*).

O NDVI é dado a partir da equação (1) a seguir:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

onde:

ρ_{NIR} é a reflectância na faixa do infravermelho próximo;

ρ_{RED} é a reflectância na faixa do vermelho.

O EVI é obtido a partir da equação (2):

$$EVI = G \times \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{L + \rho_{NIR} + c_1 \times \rho_{RED} - c_2 \times \rho_{BLUE}} \quad (2)$$

onde:

ρ_{BLUE} é reflectância na faixa do azul;

L é o fator de ajuste para o solo, com valor constante igual a 1;

c_1 e c_2 são coeficientes de ajuste para efeitos de aerossóis da atmosfera, com valores iguais a 6 e 7,5 respectivamente; e
G é o fator de ganho.

As faixas espectrais utilizadas no processo de geração do NDVI contém mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação, o que leva a um realce do comportamento espectral da vegetação (ROSA e ROSENDO, 2005).

O índice de vegetação da diferença normalizada ou NDVI permite que estudos sobre a cobertura vegetal sejam realizados com mais eficiência, pois a análise multitemporal destes dados leva a avaliação da variação de área verde em um determinado período de tempo, sendo este, portanto o índice de vegetação mais amplamente utilizado em aplicações de sensoriamento remoto voltado para área agrícola.

O EVI foi desenvolvido para ser um índice de realce do sinal da vegetação otimizando a sensibilidade em regiões com altos valores de biomassa, permitindo assim a realização de um melhor monitoramento da vegetação através da redução dos efeitos de substrato do dossel e da interferência atmosférica (HEUTE, 1994; FORMIGONI, 2008).

ESPIG et. al. (2006) mostram que o EVI é mais adequado ao estudo da Caatinga por minimizar os efeitos atmosféricos e do solo, representando melhor resposta espectral da vegetação quando comparado com o NDVI.

Os produtos MODIS de IV são desenvolvidos para fornecer comparações consistentes sobre a condição da vegetação a nível espacial e temporal. As reflectâncias de azul, vermelho e infravermelho com comprimentos de onda de 469 nm, 645 nm e 858 nm, respectivamente, são utilizados para determinar IVs diários (LPDAAC, 2008).

O produto MOD13Q1 do nível 3 do sensor MODIS é o produto específico para aquisição de informações do NDVI, estão disponibilizados com resolução espacial de 250 m, a cada 16 dias com projeção Sinusoidal dispondo de dados de:

- Dois índices de vegetação: NDVI e EVI;
- Duas imagens com informações de atestamento da qualidade dos produtos NDVI e EVI (*quality* NDVI e *quality* EVI);
- Imagens de reflectância RED, BLUE, NIR e MIR;

- Três imagens referentes a forma de aquisição dos dados, correspondentes a ângulo de visada, ângulo zenital solar e azimute.

Este produto cobre uma área de aproximadamente 10 x 10 lat/long, dimensão de 4.800 x 4.800 linhas/colunas e 12 camadas (LPDAAC, 2008). Este consiste em um mosaico de 16 dias dos quais são selecionados apenas os melhores pixels para composição da imagem.

O MOD13Q1 se baseia em dados gerados pela reflectância de superfície do produto MODIS da série MOD09 (VERMOTE et. al., 2002). Consistindo em um mosaico de imagens composto por observações de 16 dias de reflectâncias bidirecionais diárias, as observações coincidem com o início do calendário mensal (SILVA, 2004).

O mosaico que gera o produto MOD13 é realizado com o intuito de minimizar ou mesmo eliminar a presença de nuvens, obter os índices na melhor resolução espacial possível, padronizar geometria de aquisição e iluminação dos dados, assegurar qualidade e eficiência aos dados, entre outros benefícios. (LATORRE et. al., 2007).

O NDVI se mostra extremamente útil em estimativas de parâmetros biofísicos da vegetação, este IV é uma relação entre as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo (*Near infrared - NIR*) e do vermelho (*Red - RED*), que visa eliminar diferenças sazonais do ângulo de elevação solar além de minimizar os efeitos da atenuação atmosférica em imagens multitemporais.

O EVI responde melhor a variações estruturais do dossel, incluindo índice de área foliar, tipos de dosséis, fisionomia das plantas e arquitetura do dossel, garantindo a sensibilidade em diferentes tipos de paisagens, sejam desertos ou florestas densas (GAO et. al., 2000).

Autores como ANDRADE et al (2007) e FERRAZ et al (2009) mostram como as técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas no cálculo dos fluxos de energia na interface solo-vegetação-atmosfera. Para isto utiliza-se algoritmos tais como o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) formulado por BASTIAANSSEN et. al. (1998) e que mostra a obtenção de informações indispensáveis no manejo, gerenciamento e gestão dos recursos hídricos. O NDVI faz parte do cálculo do SEBAL.

5.2 – Temperatura

Segundo BASTIAANSEN e BAKKER (2000) a temperatura pode ser determinada a partir de medidas de radiância (mW/cm²/sr/μm) não corrigidas da banda 6 do sensor TM/Landsat. Áreas com vegetação possuem valores de temperatura menor que áreas com solo exposto.

A equação (4) a seguir mostra o cálculo da temperatura utilizando a banda 6 do sensor TM/Landsat.

$$T^{rad} = \frac{1260}{\ln\left(\frac{61,6}{B_{TM6}} + 1\right)} / \varepsilon^{0,25} \quad (K) \quad (4)$$

Onde:

T^{rad} = temperatura em radiância (K);

B_{TM6} = radiância termal;

ε = emissividade da superfície.

Para se obter a temperatura é necessário calcular a emissividade (o infravermelho termal (8 - 14μm) – banda 6 no sensor TM) que pode ser derivada por aproximação do logaritmo (Ln) do NDVI pela seguinte equação BASTIAANSEN e BAKKER (2000):

$$\varepsilon_{(8-14)} = 1,009 + 0,047 \text{LnNDVI}$$

Um maior detalhamento sobre as equações podem ser obtidos em LOPES(2005) e o cálculo para imagens do sensor TM.

O MODIS pode ser usado para obter este resultado a partir de imagens diárias LST (Land Surface Temperature) LST_Day, LST_Day_Aggregated_from_1km, LST_Night, LST_Night_Aggregated que necessitam apenas de ajustes de constantes para serem utilizadas em °C (Graus Celsius).

Neste trabalho analisam-se os dados existentes de temperatura para a bacia hidrográfica do Pajeú e depois compara-se com os dados LST provenientes do MODIS (produto MOD11B1) no capítulo 7.

5.3 – Albedo

A radiação solar é a principal fonte de energia para os ecossistemas terrestres, influenciando diretamente na temperatura da superfície, intensidade de fluxos energéticos e atmosfera, além de atuar sobre processos biofísicos como evapotranspiração e produtividade primária (ODUM, 1972).

Mapas de radiação solar em escala local podem ser aplicados a zoneamentos agroecológicos, distribuição de espécies e biodiversidade, além de serem importantes para validação de processos de troca de massa e energia entre a superfície e a atmosfera (DINCKINSON e KENNEDY, 1992).

Fatores que possam influenciar o regime de radiação solar consistem em: dinâmica das propriedades ópticas da atmosfera, condição de nebulosidade, topografia do terreno e distribuição do albedo (OKE, 1987).

O albedo de superfície consiste em uma proporção entre o fluxo de energia refletida e o fluxo de energia incidente. Valores de albedo (Tabela 7) mais altos podem ser associados a superfícies mais lisas, secas e de coloração clara, já valores de albedo mais baixos são associados a superfícies rugosas, úmidas e de coloração escura (LOPES et. al., 2007).

Tabela 7 – Valores de Albedo.
Adaptado de LOPES et al., 2007.

| ALBEDO | |
|---------------|-------------|
| Solo | 0,05 - 0,40 |
| Vegetação | 0,05 - 0,20 |
| Água | ≈ 0,10 |

No solo, o albedo varia de acordo com a cor do solo e o teor de água presente. Na vegetação, o albedo é influenciado principalmente pela presença de água (OKE, 1987). O

comprimento de onda, a reflectância local e a condição de iluminação são funções que influenciam também na variação do albedo (LOPES et. al., 2007).

Segundo ROBINOVE et. al. (1981) o aumento do albedo pode se apresentar devido ao aumento da presença de solo exposto e áreas desmatadas, e o aumento da umidade do solo e densidade da vegetação diminui o albedo.

Aumento de albedo pode representar uma intensificação do processo de desertificação, portanto a perda de cobertura vegetal é um fator que influencia este aumento (LOPES, 2005).

O cálculo do albedo de superfície pode ser especificado de acordo com a equação 2:

$$r_o = \frac{r_p - r_a}{\tau_{sw}^2} \quad (2)$$

onde: r_o é o albedo da superfície;

r_p é a reflectância planetária, que consiste na soma da multiplicação da reflectância de cada banda pelo seu peso;

r_a reflectância da atmosfera (0,03);

τ_{sw} transmitância atmosférica, determinada pela iteração com o pixel mais escuro (água).

O albedo pode ser diferenciado por:

1. *Black Sky*: condição de iluminação direta;
2. *White Sky*: condição de iluminação difusa; e
3. *Blue Sky*: consiste na soma dos dois albedos ponderados pela proporção da radiação direta e difusa.

A distribuição espacial do albedo pode ser definida por meio de imagens de sensoriamento remoto.

O produto MOD43B3 é o produto de albedo de superfície do MODIS que foi desenvolvido com base nos algoritmos de LIANG et. Al. (2002), SCHAAF et. Al. (2002).

Contém as sete primeiras bandas do sensor MODIS além de outras três bandas simuladas com larga faixa espectral (Tabela 7).

Tabela 8 – Bandas Espectrais do MOD43B3. Fonte: LOPES et. Al., 2007

| Número da Banda | Banda (μm) | Região do Espectro |
|------------------------|---|---------------------------|
| 1 | 0,620-0,670 | Vermelho |
| 2 | 0,841-0,876 | Infravermelho Próximo |
| 3 | 0,459-0,479 | Azul |
| 4 | 0,545-0,565 | Verde |
| 5 | 1,230-1,250 | Infravermelho Próximo |
| 6 | 1,628-1,652 | Infravermelho Médio |
| 7 | 2,105-2,155 | Infravermelho Médio |
| 8 | 0,400-0,700 | Visível |
| 9 | 0,700-4,000 | Infravermelho |
| 10 | 2,500-4,000 | Infravermelho Onda-Curta |

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo encontram-se descritos os materiais e a metodologia aplicada para a análise da mudança da vegetação, comportamento da temperatura e albedo na região da bacia hidrográfica do Pajeú - PE. Utiliza-se aqui as imagens multitemporais da área no período que compreende os anos de 2001 e 2009.

6.1 – Caracterização da Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Pajeú (UP9 – Unidade de Planejamento Hídrico 9) é a maior bacia do estado de Pernambuco está localizada no estado de Pernambuco (Figura 8), especificamente nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e do São Francisco. Envolvendo as microrregiões do Pajeú, em sua totalidade, e parte do Sertão do Moxotó, do Salgueiro e de Itaparica. Esta bacia possui uma área de 16.685,63 Km² (16,9% da área de Pernambuco).

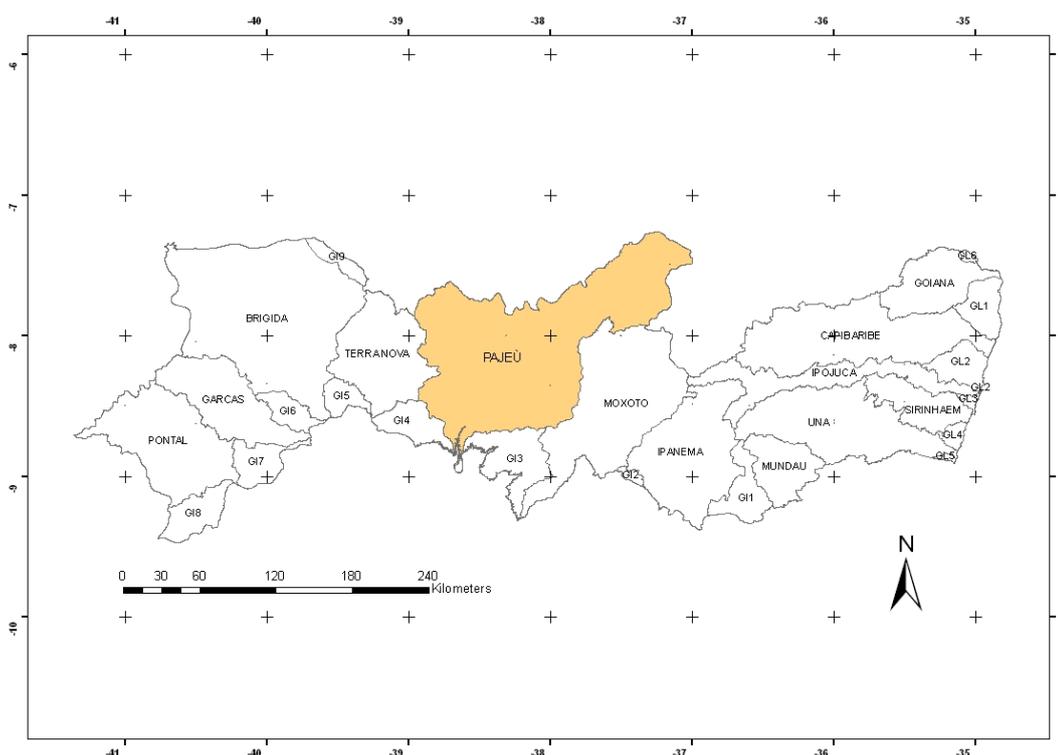


Figura 8 – Localização da Bacia Hidrográfica do Pajeú.

Segundo SALGUEIRO e MONTENEGRO (2008), o Rio Pajeú nasce a uma altitude aproximada de 800 m, na serra da Balança, divisor dos estados de Pernambuco e Paraíba, no município de brejinho, ao norte da bacia. O seu curso principal toma a direção nordeste-

sudeste apontando em seguida para o sul, no sentido do Rio São Francisco, desaguando no lago de Itaparica. Neste trajeto o rio percorre aproximadamente 353 Km. Sua rede de drenagem é bastante densa, embora seu regime fluvial seja intermitente. Este rio passa pelas cidades de Itapetim, Tuparetama, Ingazeira, Afogados da Ingazeira, Carnaíba, Flores, Calumbi e Serra Talhada. Os principais afluentes da margem direita são: os riachos Tigre, Barreira, Brejo, São Cristovão e Belém. Na margem esquerda tem-se: os riachos de cedro, Quixabá, São Domingos, Poço Negro e do navio. A rede hidrográfica é apresentada na Figura 9(b).

A Figura 9(a) mostra a divisão político-administrativa da área que abrange um total de 27 municípios, sendo eles: Carnaubeira da Penha, Floresta, Igaraci, Itacuruba, Mirandiba, São José do Belmonte, Afogados da Ingazeira, Betânia, Brejinho, Calumbi, Flores, Ingazeira, Itapetim, Quixabá, Santa Cruz da Baixa Verde, Santa Terezinha, São José do Egito, Serra Talhada, Solidão, Tabira, Triunfo, Tuparetama, Belém do São Francisco, Custódia, Verdejante, Ibimirim e Salgueiro. Os três últimos municípios com sedes municipais fora da bacia.

Na área existe a predominância de rochas cristalinas na proporção de 86,3%, enquanto 11,7% representam depósitos sedimentares e os 2% restantes pertencem aos solos aluviais. O relevo divide-se entre planos e ondulados, com vegetação arbustiva e arbórea em sua maior parte (SALGUEIRO e MONTENEGRO, 2008).

Segundo a SECTMA (1997), no setor norte do Sertão, os totais anuais de precipitação oscilam em torno de 600 mm, com alguns núcleos isolados chegando a 800mm. No setor sul do Sertão, os valores anuais são inferiores a 600 mm, com algumas áreas atingindo valores inferiores a 500 mm, sendo que no Sertão do São Francisco os valores médios chegam apenas a 400 mm/ano.

O principal sistema de produção das chuvas do Sertão é a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, que atua durante os meses de dezembro a maio, com máximos de precipitação durante fevereiro e março. A variabilidade espacial e temporal da precipitação submete a produção agropecuária a níveis de incertezas bastante altos, uma vez que o uso e ocupação do solo da bacia consistem na predominância desta atividade (SALGUEIRO e MONTENEGRO, 2008).

Os mapeamentos das unidades geoambientais, solos, aptidão agrícola, unidade de paisagem e potencial de irrigação da área encontram-se no capítulo 7 que trata de resultados. Estes mapeamentos foram extraídos do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) da Embrapa.

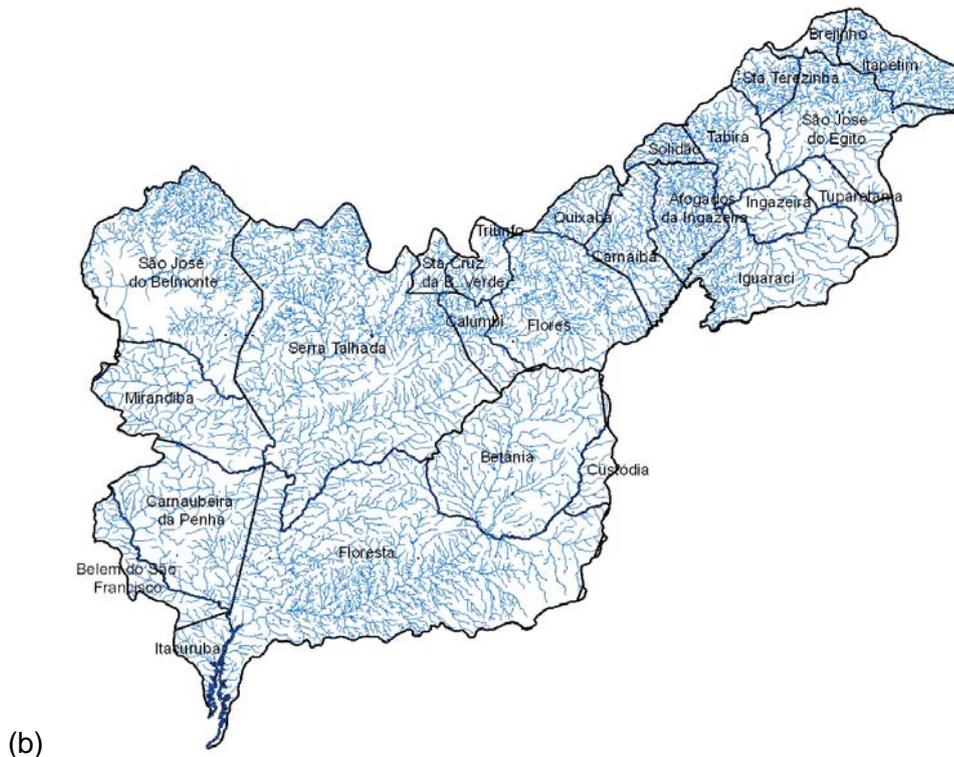


Figura 9 – Bacia do Pajeú - PE. (a) Municípios da bacia. (b) Rede Hidrográfica.

6.2 – Materiais

6.2.1 – Dados Temáticos

Na análise da área de estudo foram utilizados mapas temáticos referentes as unidades geoambientais, solos, aptidão agrícola, unidade de paisagem e potencial de irrigação da área, adquiridos no zoneamento agroecológico de Pernambuco (ZAPE) da Embrapa.

6.2.2 – Dados de Temperatura

O comportamento da temperatura foi analisado com base em dados já pré-existentes na região da bacia obtidos por PCDs (Plataformas Coletoras de Dados). Tais PCDs possuem conjuntos de sensores como: termômetros (temperatura do ar e solo), pluviômetros (chuva), anemômetros (direção e velocidade do vento), radiômetros (radiação solar), entre outros.

Os dados coletados pelas PCDs são transmitidos via satélite para antenas de recepção em Cuiabá (MT) e Alcântara (MA). Em seguida, são enviados ao Centro de Missão de Coleta de Dados – CMCD em Cachoeira Paulista, SP, onde são processados e distribuídos aos usuários como o LAMEPE (Laboratório de Meteorologia de Pernambuco) sediado no ITEP (Instituto Tecnológico de Pernambuco) e o CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) com sede no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). A Figura 10 mostra as PCDs no estado de Pernambuco e a Tabela 11 mostra as coordenadas, altitudes entre outras informações das estações de estudo.

O LAMEPE afirma que a baixa concentração espacial de locais com longos registros termométricos restringe a disponibilidade de dados de temperatura para o estado, quando comparados aos de precipitação. É necessário então estimar as médias mensais de temperatura do ar (T_m) naqueles locais aonde apenas se dispunham de dados de chuva.

As estimativas disponíveis no site do ITEP e usadas no texto foram obtidas através de modelos mensais de regressão quadrática múltipla, tomando-se a latitude (ϕ), a longitude (λ) e a altitude (ξ) como variáveis independentes de acordo com a equação (5)

$$T_m = A_m + B_m \phi + C_m \lambda + D_m \xi + E_m \phi^2 + F_m \lambda^2 + G_m \xi^2 + H_m \lambda \phi + I_m \lambda \xi + J_m \phi \lambda \quad (5)$$

Segundo o LAMEPE, os coeficientes A_m , B_m , ... J_m , foram determinados para cada mês ($m = 1, 2, 3...$) pelo método dos mínimos quadrados dos desvios. O pior erro padrão da estimativa das temperaturas médias mensais foi inferior a $\pm 1^\circ \text{C}$.

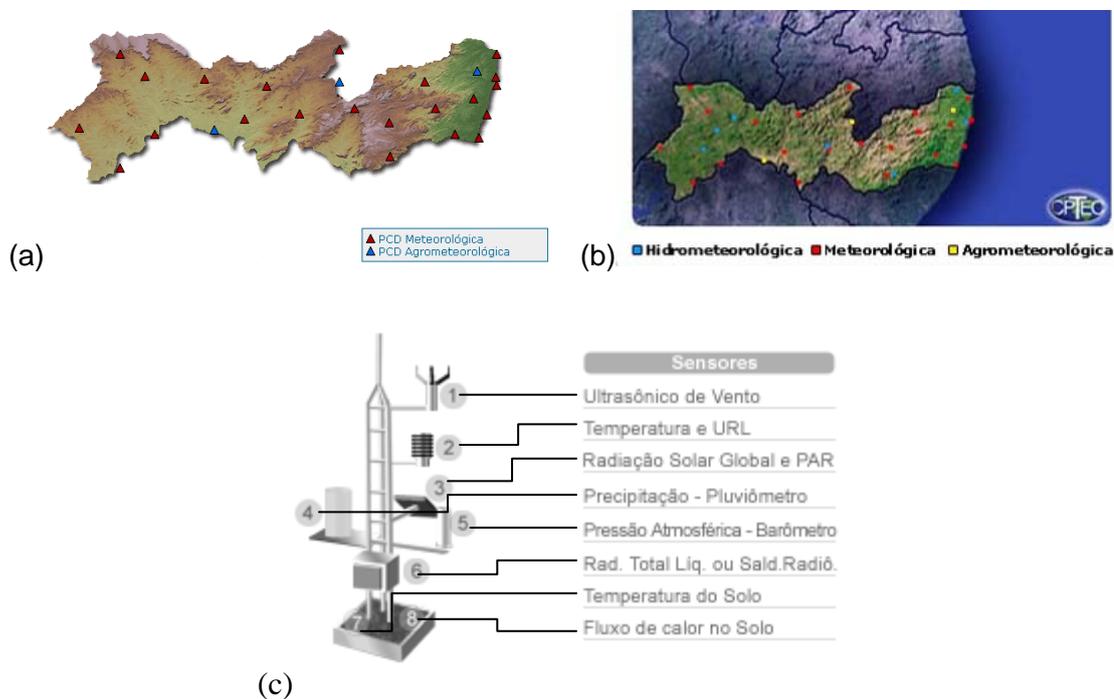


Figura 10 – PCD's em Pernambuco. (a) ITEP. Fonte: <http://www.itep.br/meteorologia/lamepe/pcdmap.html>
 (b) CPTEC-INPE. Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/pcd.jsp?uf=16>
 (c) PCD mostrando os sensores. Adaptado: <http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/>

No site do CPTEC é possível obter as informações diárias das PCD's tais como: Temperatura do Ar, Temperatura Máxima do Ar (últimas 24h), Temperatura Mínima do Ar (últimas 24h), Radiação Solar Acumulada entre outros parâmetros.

A consulta específica ao banco de dados por Mês/Ano das PCD é mostrado na Figura 11. Informações gerais sobre as PCD's podem ser obtidas no site: <http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/>. Estas informações serão aqui usadas para se comparar com os dados obtidos pelas imagens MODIS. Os parâmetros coletados, calculados e transmitidos via satélite SCD pelas Plataformas de Coleta de Dados estão disponíveis no site: <http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/amostragem.jsp>.

Consulta específica ao Banco de Dados por Mês/Ano com filtros em alguns sensores - consulta sem filtro clique [aqui](#)

Nome da PCD: Floresta Mês: Todos Ano: 2008

Lista de Sensores disponíveis nas PCDs Meteorológicas.

"Importante" Escolha os Sensores antes de serem visualizados.

Todos os Sensores Todos Sensores + Bateria e Corrente do Painel Solar

Bateria CorP5ol DirVelVentoMax DirVento Pluvio
 Pluvio24H12GMT PressaoAtm RadSolAcum RadSolRef RadSolInc
 RadSolPar RadSolGob RadSolLiq TempAr TempMax
 TempMin TempInt UmidInt UmidRel VelVento2m
 VelVento3m VelVento5m VelVento10m VelVentoMax Precipitação
 Dia Hora TempComp UmidComb NivRegua

Consulte os sensores das PCDs Meteorológicas: clique [Aqui](#)

Pesquisar

Figura 11 - Consulta específica ao Banco de Dados por Mês/Ano com filtros em alguns sensores. Fonte: http://satellite.cptec.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp.

Na área da bacia, existem algumas PCDs com informações diárias de temperatura, estas podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 9 – Estações utilizadas para a bacia hidrográfica do Pajeú

| | | |
|-----------------|-----------------------------------|------------------|
| Código: 32026 | Nome: Floresta | Usuário: SRH-PE |
| Tipo: MET | Município: Floresta - PE | Status: Ativa |
| Altitude: 328 m | Longitude: -38.57° | Latitude: -8.60° |
| Código: 32285 | Nome: Serra Talhada | Usuário: PMTCRH |
| Tipo: MET | Município: Serra Talhada - PE | Status: Ativa |
| Altitude: 430 m | Longitude: -38.29° | Latitude: -7.92° |
| Código: 32033 | Nome: São Jose do Egito | Usuário: SRH-PE |
| Tipo: MET | Município: São Jose do Egito - PE | Status: Ativa |
| Altitude: 329 m | Longitude: -37.28° | Latitude: -7.44° |
| Código: 32289 | Nome: Ibimirim | Usuário: SRH-PE |
| Tipo: MET | Município: Ibimirim - PE | Status: Ativa |
| Altitude: 401 m | Longitude: -37.67° | Latitude: -8.54° |

6.2.3 – Dados Orbitais

Os dados orbitais utilizados nesta pesquisa consistem de imagens MODIS/Terra em formato HDF, do produto MOD13Q1 referentes ao *tile* h14/v09. As imagens foram selecionadas para os meses de Janeiro de 2001 e Janeiro de 2009 nos dias julianos 1 e 17. As imagens são georreferenciadas em UTM/WGS-84 com projeção Sinusoidal.

Foram utilizados dados orbitais do produto MOD11B1 referentes ao *tile* h14/v09, com imagens referentes aos meses de Janeiro a Dezembro de 2008 e Janeiro de 2009 sobre as quais foram observados os perfis de variação da temperatura.

Também utilizou-se imagens de albedo MCD43B3, resultantes da composição MODIS/Terra+Aqua do *tile* h14/v09.

6.2.4 – Dados Vetoriais

Foram utilizadas informações vetoriais (formato *shapefile*) do estado de Pernambuco e das bacias existentes no estado, ambas elaboradas pela EMBRAPA (ZAPE), que serviu de base para recortes efetuados na imagem.

6.2.5 – Programas Utilizados

- MODIS Reprojection Tool 4.0 (MRT)
- RSI ENVI 4.2
- Terraview 3.3.0
- ArcGIS

6.3 – Métodos

6.3.1 - Aquisição dos dados orbitais e conversão das imagens

Os dados foram adquiridos via FTP através do site <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>. Estes se apresentam no formato HDF e com o programa MRT (disponível em <http://edcdaac.usgs.gov/tools/modis/>) e foram convertidos para o formato GeoTIFF.

6.3.2 – Metodologia para NDVI/EVI

As imagens do produto MOD13Q1 foram adquiridas no formato HDF e convertidas para GeoTIFF no MRT, após a conversão as bandas foram importadas para o ENVI, foi mantido o sistema de projeção WGS84 e foi efetuado um recorte da área de interesse, a imagem resultante sofreu então uma operação de cálculo de bandas onde cada pixel foi multiplicado pelo fator de escala 0,001, gerando então uma imagem final com os valores de NDVI e EVI. A Figura 12 apresenta o fluxograma da metodologia para o NDVI/EVI.

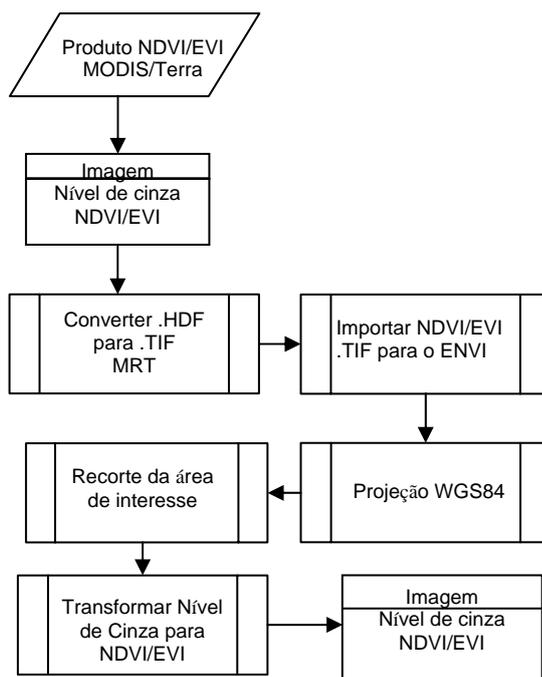


Figura 12– Metodologia para NDVI e EVI.

6.3.3 – Metodologia para Temperatura

As imagens do produto MOD11B1 foram adquiridas no formato HDF e convertidas para GeoTIFF no MRT, após a conversão as bandas foram importadas para o ENVI, foi mantido o sistema de projeção WGS84 e foi efetuado um recorte da área de interesse, a imagem resultante sofreu então uma operação de cálculo de bandas onde cada pixel foi multiplicado pelo fator de escala referente a cada banda, gerando então uma imagem final com os valores de temperatura, esses valores foram então comparados com os obtidos a partir das PCDs (Figura 13).

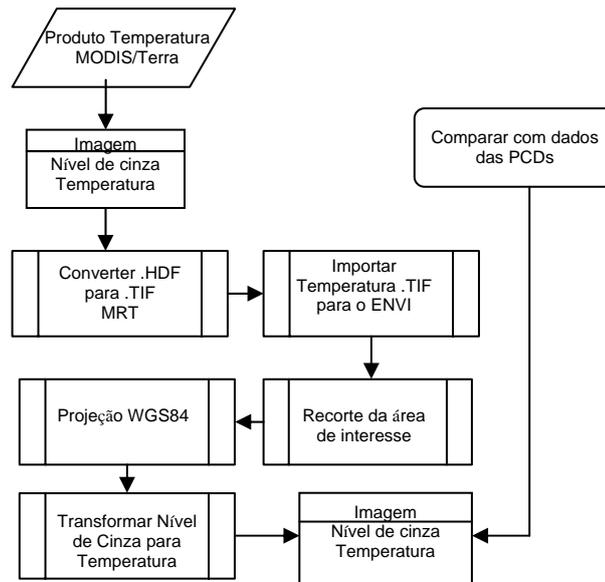


Figura 13 – Metodologia para Temperatura.

6.3.4 – Metodologia para Albedo

As imagens do produto MOD43B1 foram adquiridas no formato HDF e convertidas para GeoTIFF no MRT, após a conversão as bandas foram importadas para o ENVI, foi mantido o sistema de projeção WGS84 e foi efetuado um recorte da área de interesse, a imagem resultante sofreu então uma operação de cálculo de bandas onde cada pixel foi multiplicado pelo seu fator de escala, gerando então uma imagem final com os valores de Albedo (Figura 14).

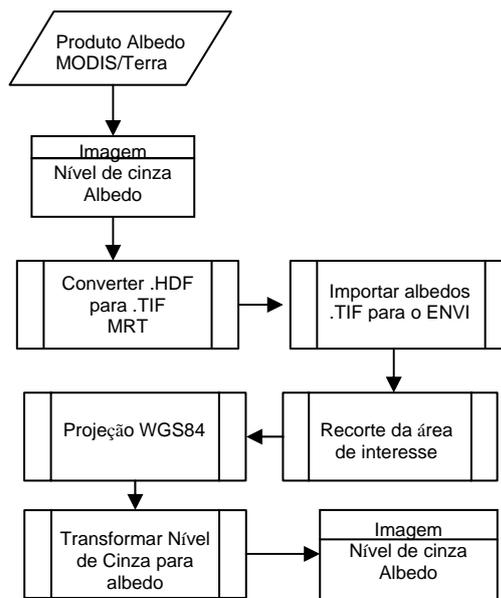


Figura 14 – Metodologia para albedo.

6.3.5 – Comparação dos dados ZAPE, TM/LANDSAT, Albedo e NDVI

A partir dos planos de informação do albedo e NDVI foram marcadas as áreas com valores altos de albedo e baixo de NDVI, que correspondem a áreas de solo exposto e/ou baixa umidade de solos. Esta identificação foi sobreposta aos planos de informação de solos, potencial para agricultura e potencial para a irrigação (ZAPE). Além disto, para se obter uma melhor resolução espacial da área esta identificação foi sobreposta a imagem TM-LANDSAT5 de dezembro de 2008 e ao seu NDVI da mesma área em questão.

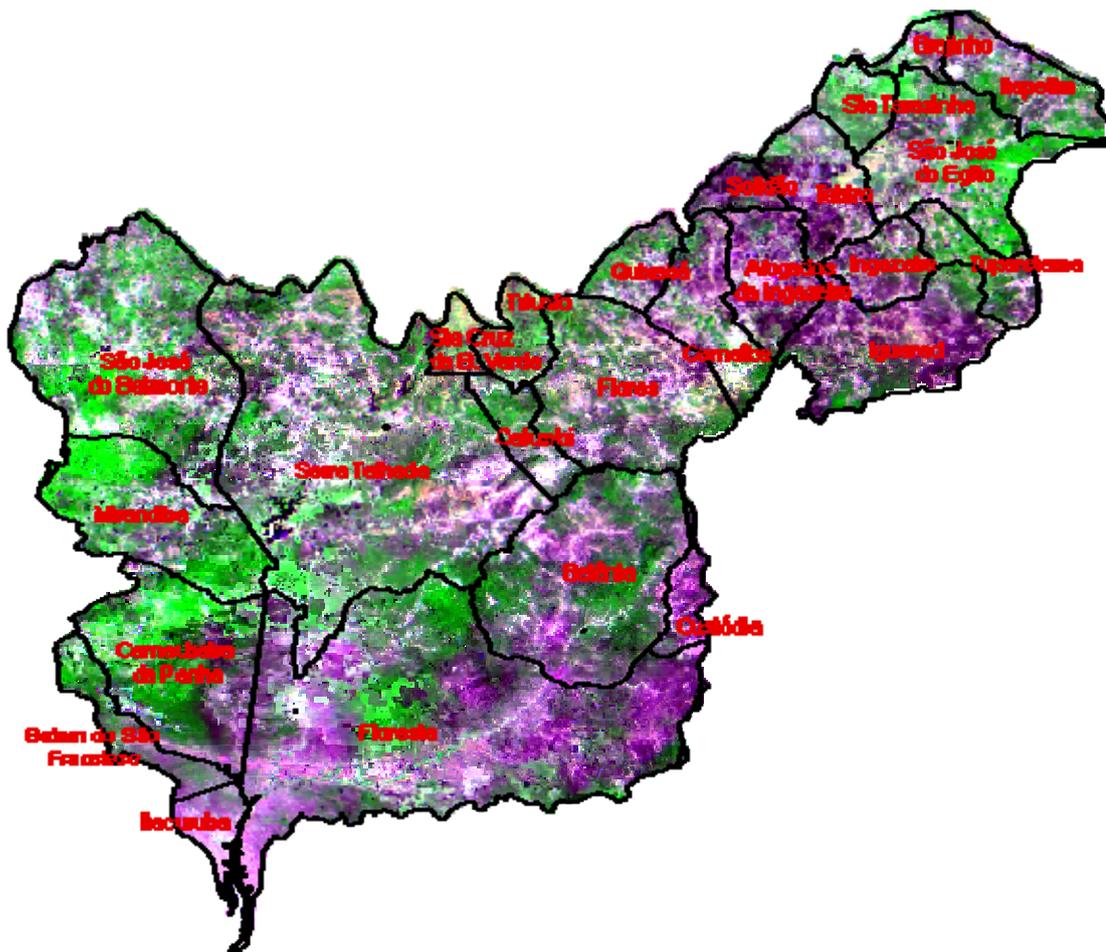


Figura 16 – Bacia do Rio Pajeú – PE, Janeiro de 2009.

Observando as Figuras 15 e 16, pode-se dizer que nos municípios de Serra Talhada, Floresta, Betânia e Custódia houve um aumento das áreas não vegetadas entre os anos de 2001 e 2009, enquanto que nos municípios de Tabira, Ingazeira, Tuperatama, Santa Terezinha, São José do Egito, Brejinho e Itapetim houve um aumento da vegetação no mesmo período.

A composição colorida utilizando as bandas do vermelho, do infravermelho próximo e do azul do MOD13Q1 foi a que apresentou melhores resultados em nível de visualização para diferenciação da vegetação para áreas não vegetadas. Elas são mostradas nas Figuras 17 e 18. A partir da composição colorida pode-se observar que de forma individual as bandas possuem um bom desempenho, a vegetação ganhou destaque em tons de verde e áreas desmatadas em tons de rosa.

NDVI e EVI

O NDVI (Figuras 22 e 23), que utiliza as refletâncias da bandas do vermelho e do infravermelho próximo tem como finalidade realçar características de vegetação na imagem, o EVI (Figuras 29 e 30) realça estas características ainda mais que NDVI. O produto MOD13Q1 já possui bandas de NDVI e EVI prontas, não precisando ser calculadas.

Neste produto, pode-se observar de acordo com a Figura 22, que os valores mais altos do NDVI (próximos a 1), se apresentam com tonalidade mais claras representando assim um maior índice de vegetação, enquanto que os valores mais baixos (próximos a 0) se apresentam com as tonalidades mais escuras o que por sua vez representa um menor índice de vegetação ou maior valor de solo exposto.

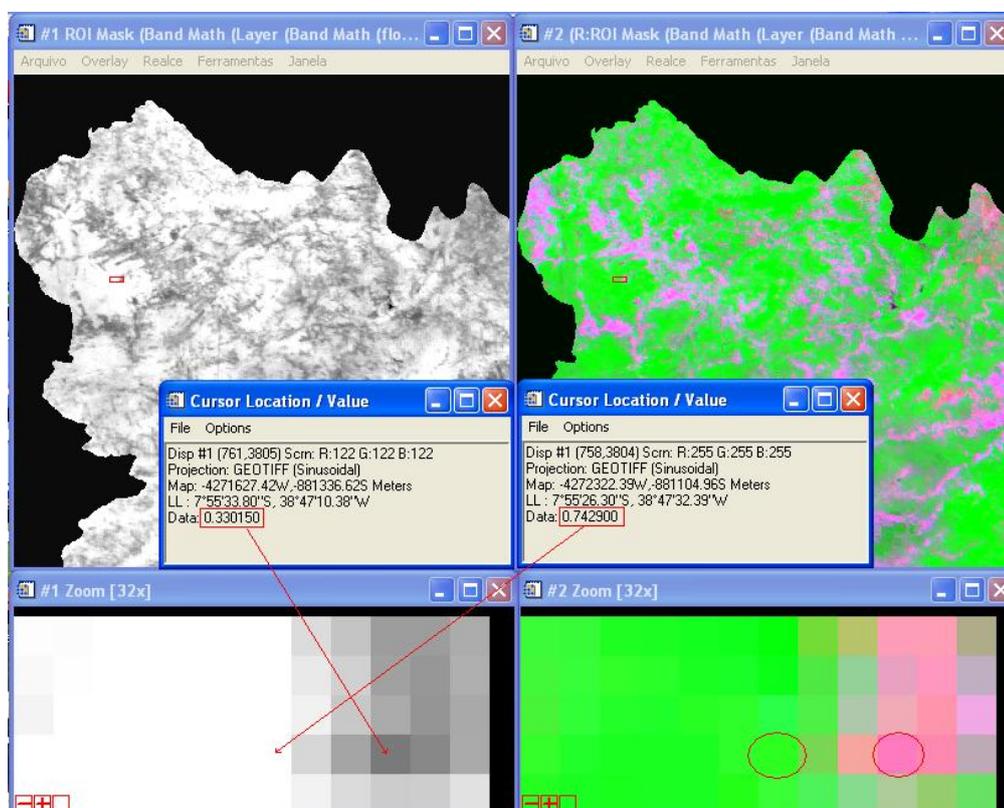


Figura 17 – Representação do índice de vegetação.

As Figuras 18, 19, 20 e 21 mostram combinações coloridas R(red) G(ndvi) B(blue) para NDVI e EVI em Janeiro de 2001 e em janeiro de 2009. Percebe-se um resultado com maior contraste para o EVI.

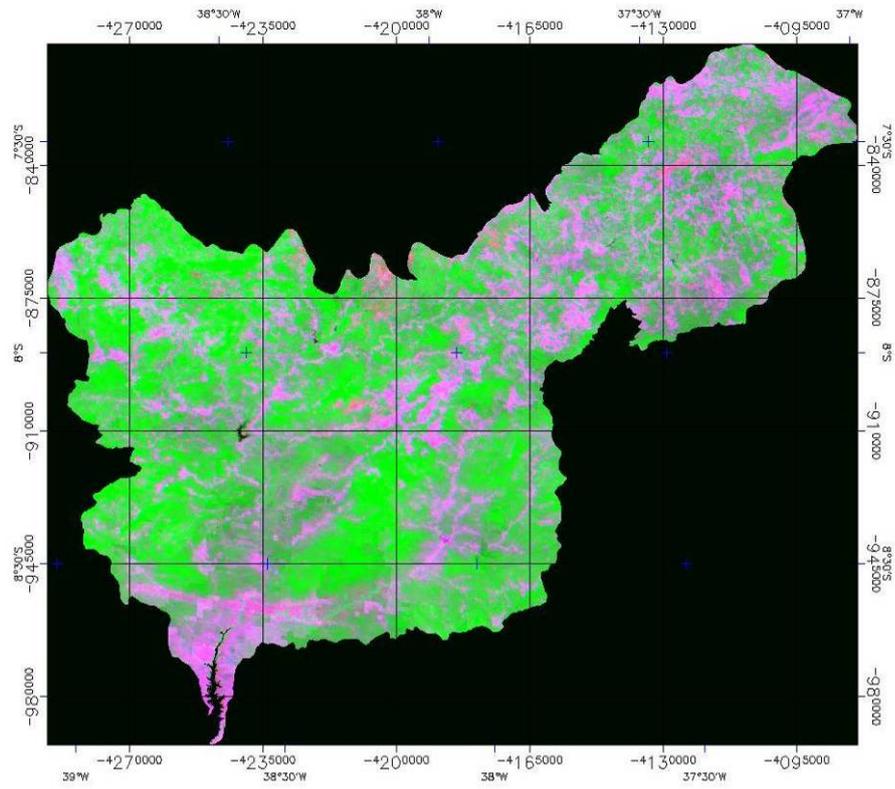


Figura 18 – NDVI, Janeiro de 2001. R(red) G(ndvi) B(blue).

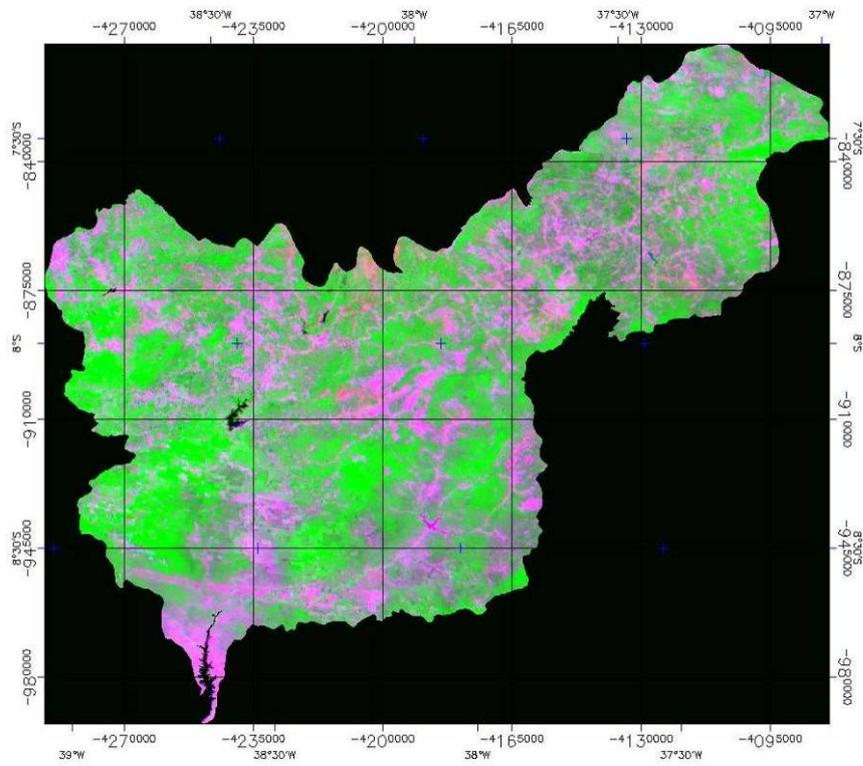


Figura 19 – NDVI, Janeiro de 2009. R(red) G(NDVI) B(blue).

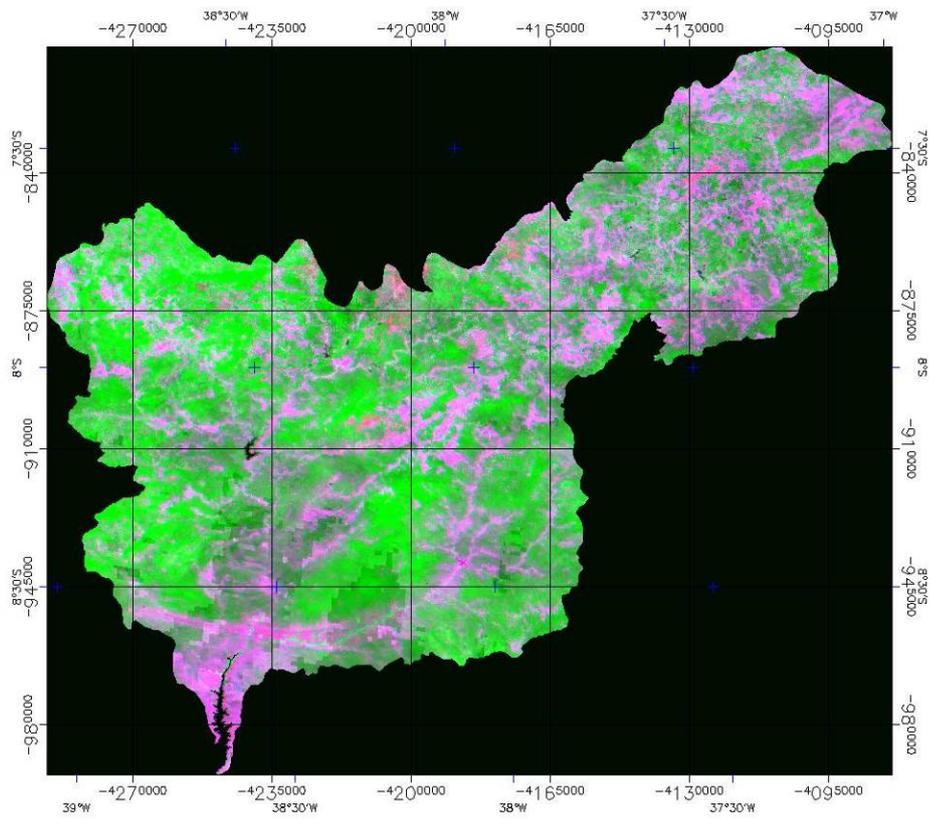


Figura 20 – EVI, Janeiro de 2001. R(red) G(evi) B(blue).

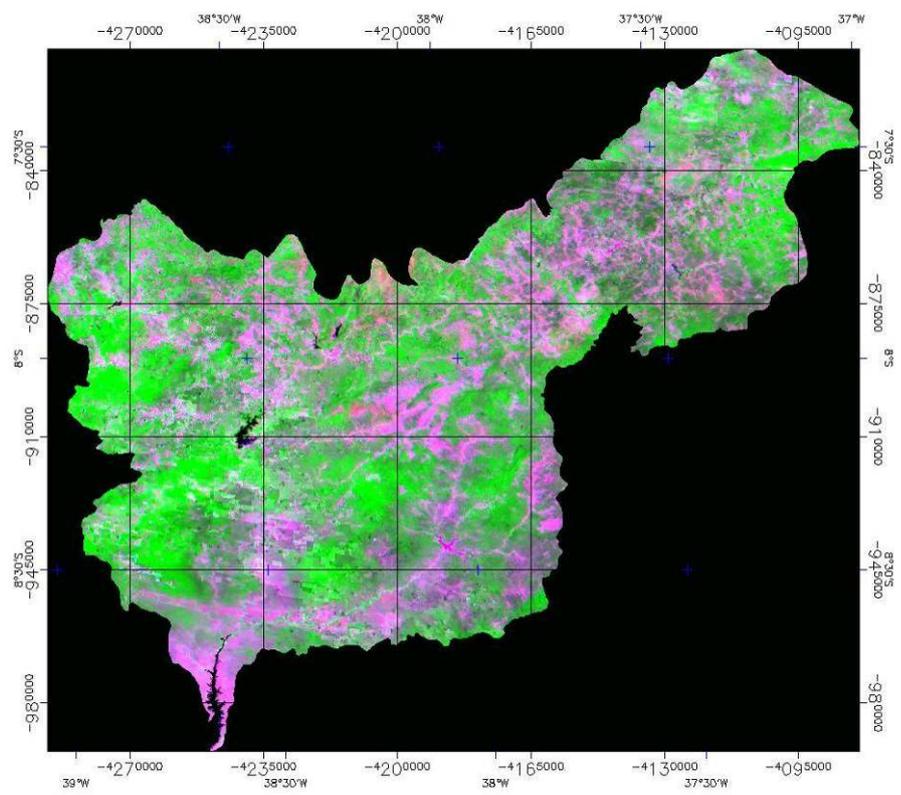


Figura 21 – EVI, Janeiro de 2009. R(red) G(evi) B(blue).

A transposição do Rio São Francisco e sua área de influência direta que inclui parte dos municípios de Floresta, Betânia e Custódia é mostrada a seguir com as informações do NDVI para os anos 2001 e 2009 (Figuras 22 (a) e (b)). Os *layers* da transposição e área de influência direta foram obtidos de CIRILO (2008) foram sobrepostos as imagens. A partir das imagens de NDVI e EVI em 2001 e 2009 pode-se visualizar que esta é uma área sofreu uma perda de vegetação natural, principalmente o município de Custódia.

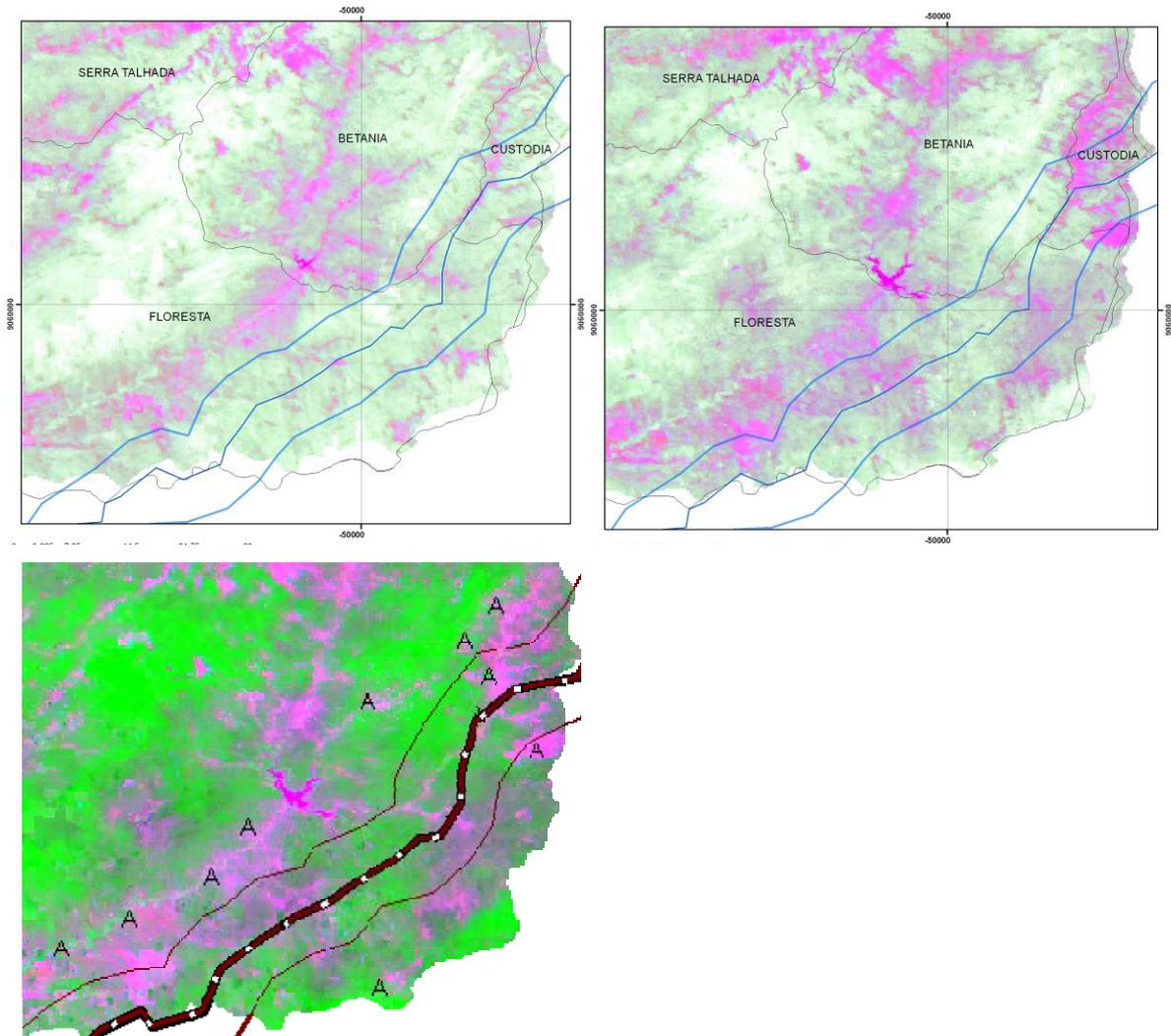


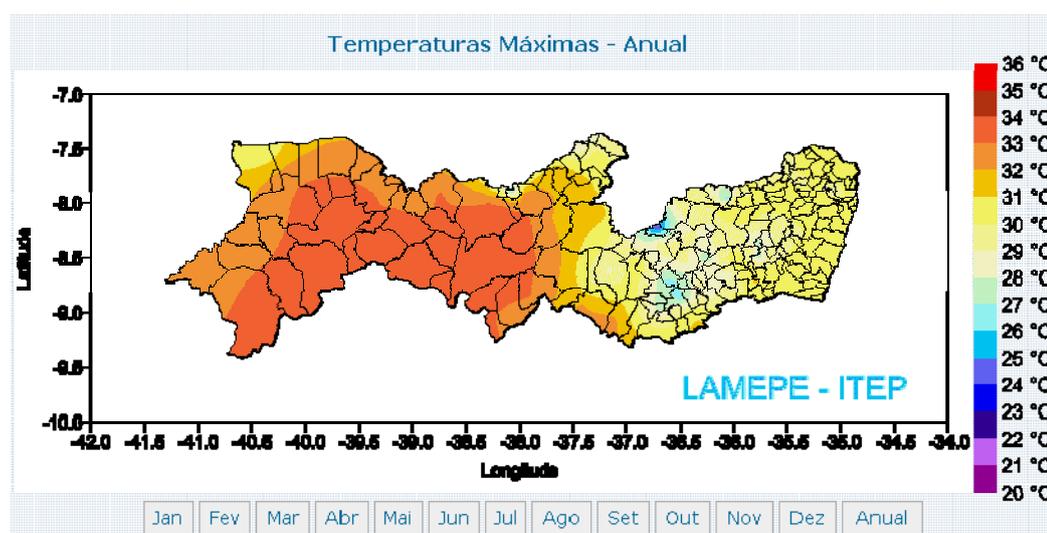
Figura 22 - NDVI. (a) Mapa do NDVI para 2001, transposição do Rio São Francisco.

(b) Mapa do NDVI para 2009, transposição do Rio São Francisco.

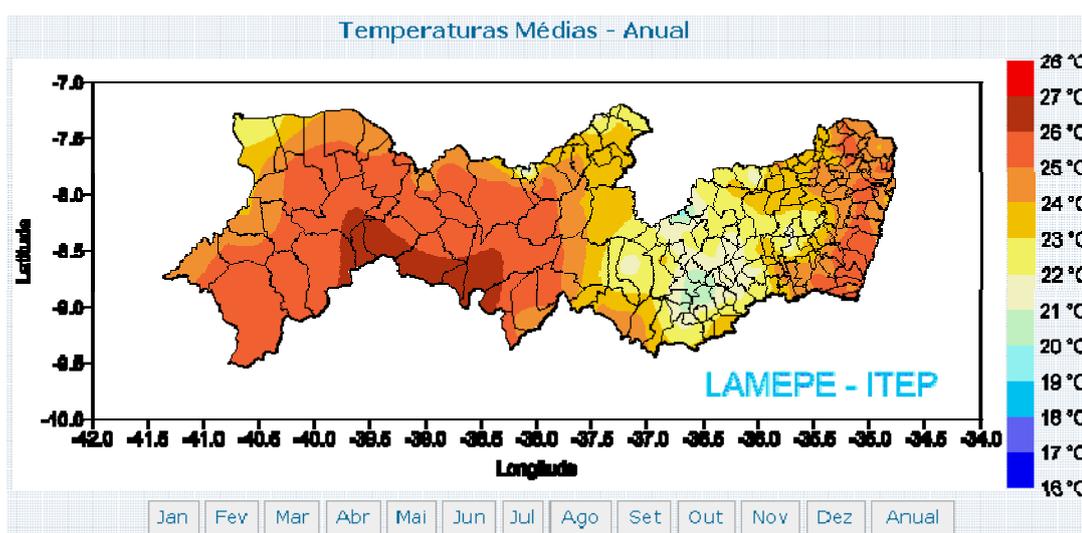
(c) Solo exposto (marcados com **A**).

Temperatura e produto MOD11B1

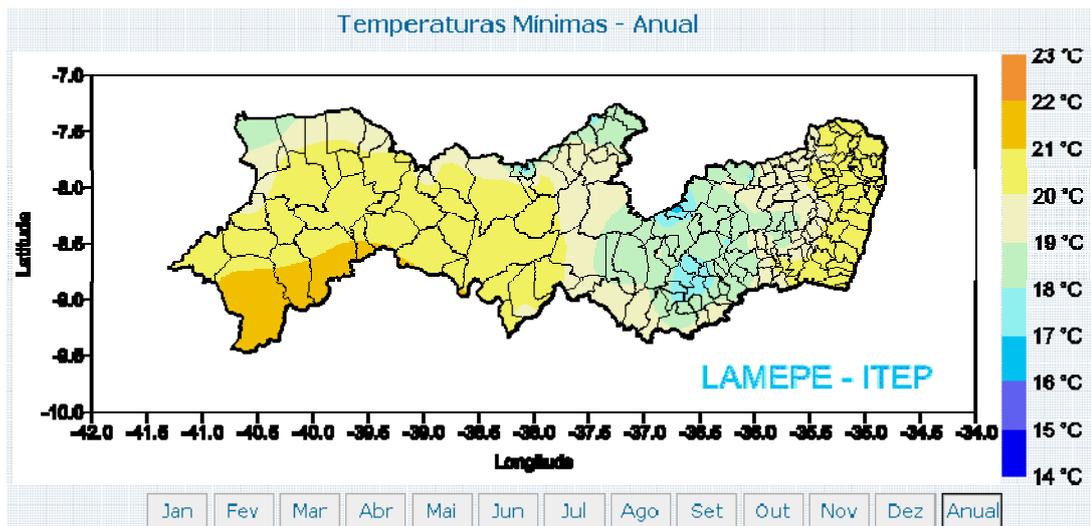
As temperaturas máximas, média e mínima em Pernambuco são mostradas na Figura 23. Pelos dados do LAMEPE, a parte sul da bacia do Pajeú é a mais quente e possui valores de 34°C, 27°C e 21°C (máxima, média e mínima). Já a parte nordeste, é a parte mais fria e possui temperaturas de 30°C - 31°C, 22°C - 23°C e 19°C - 20°C (máxima, média e mínima). Neste site, na época desta dissertação, não é especificado a série histórica para obtenção dos resultados.



(a) Temperaturas máximas



(b) Temperaturas médias



(c) Temperaturas mínimas

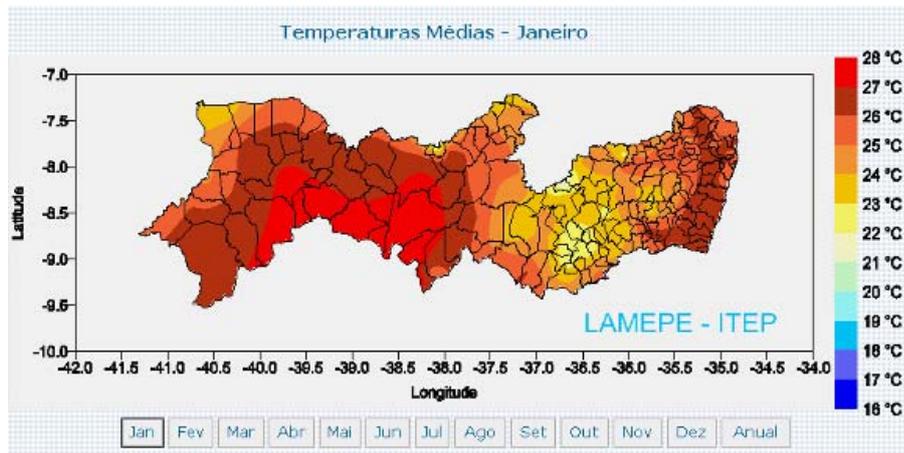


(d) Bacias hidrográficas de Pernambuco

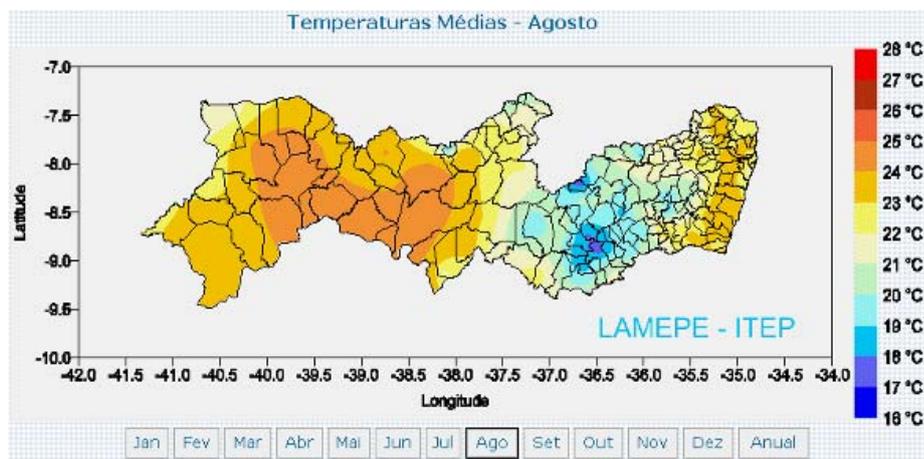
Figura 23 – Temperaturas médias anuais e Bacias Hidrográficas de Pernambuco.

Fonte: <http://www.itep.br/meteorologia/lamepe/mediasmensais.html>

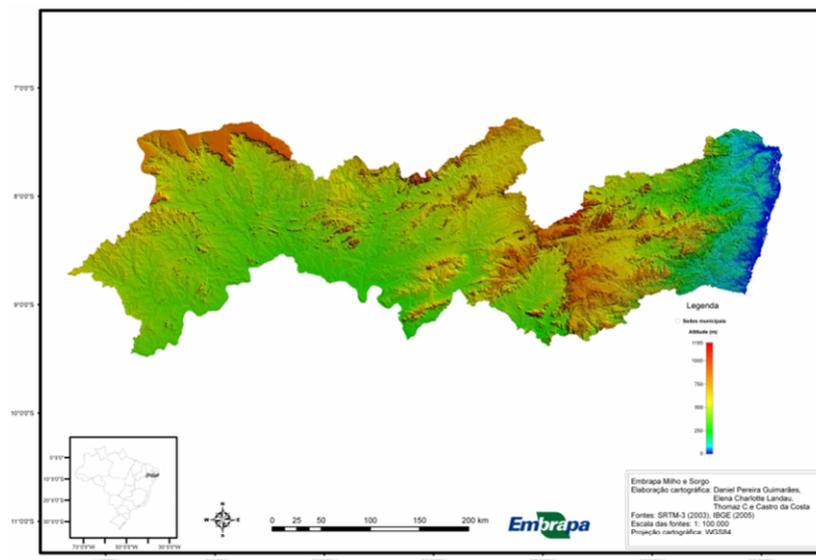
As temperaturas médias de Pernambuco mensal dos meses de janeiro e agosto são mostradas a seguir na Figura 24 e foram obtidas no LAMEPE de acordo com a equação (1) anteriormente mostrada. Novamente percebe-se que a parte sul da bacia possui temperaturas altas durante todo o ano. Observa-se também nesta figura a altimetria do estado Pernambuco obtida a partir do SRTM. A parte nordeste da bacia do Pajeú possui valores mais altos de altimetria e correspondem também valores mais baixos de temperatura.



Janeiro. Fonte: <http://www.itep.br/meteorologia/lamepe/mediasmensais.html>



Agosto. Fonte: <http://www.itep.br/meteorologia/lamepe/mediasmensais.html>

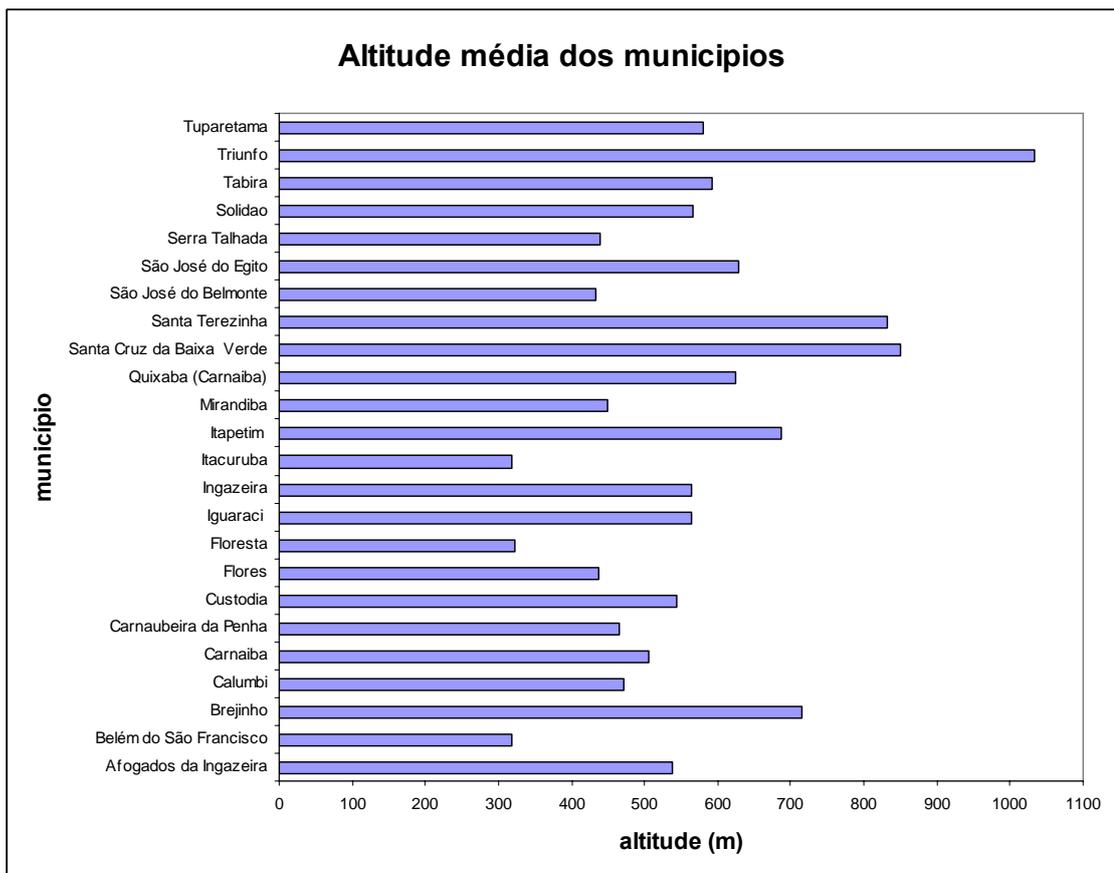


Altimetria de Pernambuco baseada no SRTM. Fonte: <http://www.agritempo.gov.br/altimetria/Mapas/PE.altajpg>

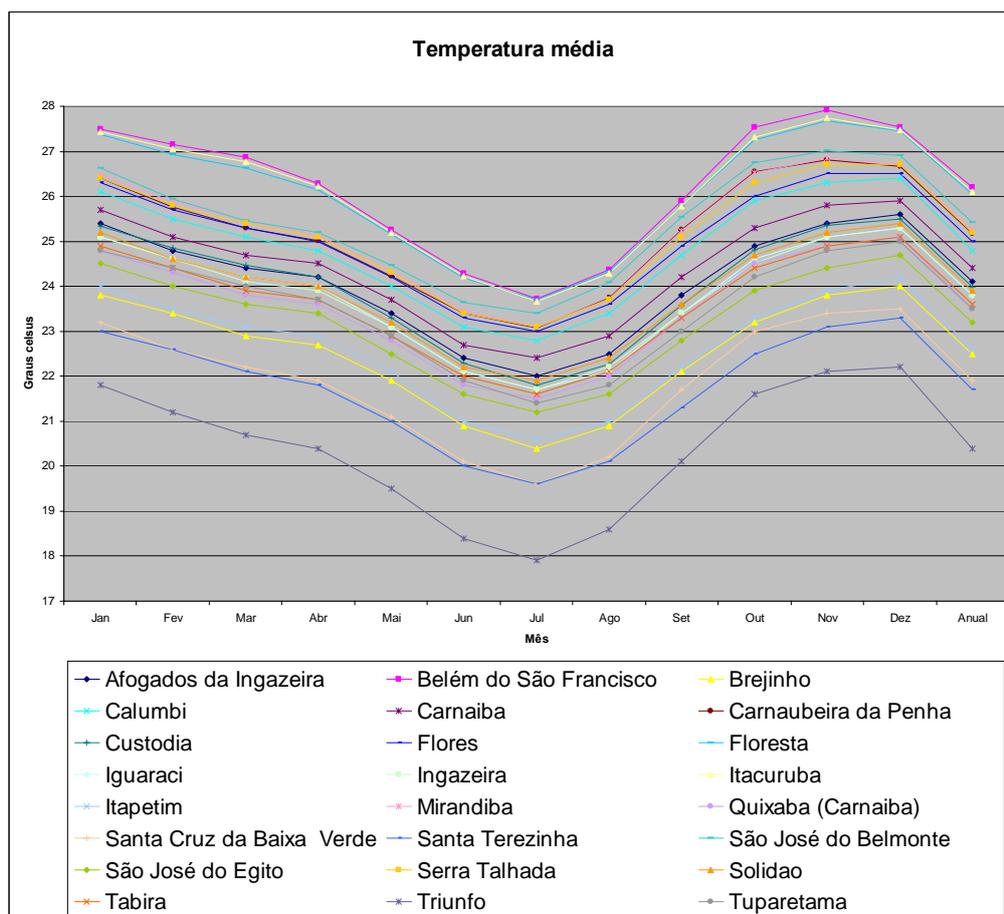
Figura 24 – Temperaturas médias mensais e altimetria para o Estado de Pernambuco.

A correlação entre temperatura e altitude (Figura 25 (a)) foi de $-0,988982127$. Mostrando que para a bacia estas variáveis estão inversamente correlacionadas. É muito próxima de -1 indicando que são quase inversamente proporcionais.

O gráfico da Figura 25 (b) mostra o comportamento das temperaturas mensais para os municípios e observa-se que Belém de São Francisco, Itacuruba e Floresta possuem temperaturas médias mais altas que os demais municípios e que triunfo possui as temperaturas mais baixas desta bacia.



(a) Temperaturas médias anuais x Altimetria.



(b) Temperaturas médias mensais e média anual.

Figura 25 – Representação das temperaturas da Bacia Hidrográfica do Pajeú. Dados extraídos de <http://www.itep.br/meteorologia/lamepe/mediasmensais.html>.

A vantagem da imagem MODIS é que a temperatura pode ser obtida não apenas localmente, mas na área desejada, no caso, na bacia hidrográfica do Pajeú. A geração do mapeamento temático é bem mais simples que o caso das PCD's onde é necessário obter interpolação na geração deste mapeamento por ser este último uma aquisição por pontos.

O produto MOD11B1 oferece quatro tipos de imagens distintas: LST_Day, LST_Day_Aggregated, LST_Night e LST_Night_Aggregated. Para definir qual seria o melhor resultado efetua-se aqui uma comparação entre os dados locais das estações e de campo, utilizou-se as localizações espaciais de duas estações em Floresta para se observar as temperaturas nas imagens MODIS.

A tabela 10 apresenta as temperaturas obtidas no site do CPTEC. As tabelas 11, 12, 13, 14 mostram e os produtos MODIS para o 1º dia de cada mês para dois pontos no município de Floresta respectivamente para as imagens LST_Day, LST_Day_Aggregated, LST_Night e LST_Night_Aggregated.

O horário de obtenção dos dados do CPTEC (PCD Floresta com latitude -8.°36' e longitude -38°34') foi o das 9 horas da manhã para se aproximar ao horário da 10:30 horas da passagem do MODIS/TERRA. O ideal seria a medição no horário de passagem do satélite.

Observou-se a variação de resultados das respostas dadas pelas imagens MODIS (tabelas 10 a 13) supondo que o dado confiável seja o do CPTEC (Tabela 9).

Tabela 10- Dados do CPTEC – INPE para o 1º dia de cada mês - horário 9H para Floresta para temperatura do Ar , temperatura máxima e temperatura mínima. Fonte: CPTEC, 2009

| MUNICIPIO | jan/08 | Fev/08 | mar/08 | abr/08 | mai/08 | jun/08 | jul/08 | ago/08 | set/08 | out/08 | nov/08 | dez/08 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TempAr 9H | 22,7 | 22,5 | 22,4 | 22,1 | 22,5 | 19,6 | 21,3 | 18,7 | 20,3 | 23,2 | 23,2 | 26,4 |
| TempMax 9H | 34,1 | 35,3 | 30,9 | 31,5 | 32,7 | 29,1 | 28,8 | 29,9 | 33,1 | 35,5 | 35,5 | 38,4 |
| TempMin 9H | 22,4 | 21,1 | 22,4 | 22,1 | 22,4 | 19,6 | 16 | 18 | 20,2 | 22,1 | 22,1 | 25,8 |

Tabela 11 - Dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 – Produto LST_Day - o 1º dia de cada mês e dados do CPTEC da mesma data

| MUNICIPIO | Jan/08 | fev/08 | mar/08 | abr/08 | mai/08 | jun/08 | jul/08 | ago/08 | set/08 | out/08 | nov/08 | dez/08 | Lat | Long |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| FLORESTA 1 | 40,7 | 37,7 | 37,7 | 37,6 | 28 | 33,6 | 31,2 | 27,9 | 31,8 | 44,9 | 48,5 | 49 | 8°32' | 32°12' |
| FLORESTA 2 | 43,4 | 38,3 | 38,4 | 38,4 | 27,4 | 35,9 | 33,8 | 29,5 | 35,4 | 45,2 | 50,6 | 50,7 | 8°36' | 38°34' |
| TempAr 9H | 22,7 | 22,5 | 22,4 | 22,1 | 22,5 | 19,6 | 21,3 | 18,7 | 20,3 | 23,2 | 23,2 | 26,4 | 8°36' | 38°34' |
| TempMax 9H | 34,1 | 35,3 | 30,9 | 31,5 | 32,7 | 29,1 | 28,8 | 29,9 | 33,1 | 35,5 | 35,5 | 38,4 | 8°36' | 38°34' |
| TempMin 9H | 22,4 | 21,1 | 22,4 | 22,1 | 22,4 | 19,6 | 16 | 18 | 20,2 | 22,1 | 22,1 | 25,8 | 8°36' | 38°34' |

Tabela 12- Dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 – Produto LST_Day Aggregated - o 1º dia de cada mês e dados do CPTEC da mesma data

| MUNICIPIO | Jan/08 | fev/08 | mar/08 | abr/08 | mai/08 | jun/08 | jul/08 | ago/08 | set/08 | out/08 | nov/08 | dez/08 | Lat | Long |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| FLORESTA 1 | 40,5 | 37,5 | 31,7 | 26,1 | 27,9 | 33,3 | 31,3 | 28,1 | 31,8 | 45 | 48,9 | 48,9 | 8°32' | 32°12' |
| FLORESTA 2 | 43,5 | 38,5 | 27,6 | 28,9 | 27,4 | 35,9 | 34 | 29,2 | 35,5 | 45,4 | 50,9 | 50,9 | 8°36' | 38°35' |
| TempAr 9H | 22,7 | 22,5 | 22,4 | 22,1 | 22,5 | 19,6 | 21,3 | 18,7 | 20,3 | 23,2 | 23,2 | 26,4 | 8°36' | 38°34' |
| TempMax 9H | 34,1 | 35,3 | 30,9 | 31,5 | 32,7 | 29,1 | 28,8 | 29,9 | 33,1 | 35,5 | 35,5 | 38,4 | 8°36' | 38°34' |
| TempMin 9H | 22,4 | 21,1 | 22,4 | 22,1 | 22,4 | 19,6 | 16 | 18 | 20,2 | 22,1 | 22,1 | 25,8 | 8°36' | 38°34' |

Tabela 13- Dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 – Produto LST_Night - o 1º dia de cada mês e dados do CPTEC da mesma data

| MUNICIPIO | Jan/08 | fev/08 | mar/08 | abr/08 | mai/08 | jun/08 | jul/08 | ago/08 | set/08 | out/08 | nov/08 | dez/08 | Lat | Long |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| FLORESTA 1 | 24,3 | 26,1 | 23,2 | 24,3 | 23 | - | - | 20,3 | 23,7 | 26,1 | 27,4 | 27,4 | 8°32' | 32°12' |
| FLORESTA 2 | 26,8 | - | - | 26,2 | 24,3 | 19,7 | - | 22,4 | 24,5 | 27,5 | 28 | 28 | 8°36' | 38°34' |
| TempAr 9H | 22,7 | 22,5 | 22,4 | 22,1 | 22,5 | 19,6 | 21,3 | 18,7 | 20,3 | 23,2 | 23,2 | 26,4 | 8°36' | 38°34' |
| TempMax 9H | 34,1 | 35,3 | 30,9 | 31,5 | 32,7 | 29,1 | 28,8 | 29,9 | 33,1 | 35,5 | 35,5 | 38,4 | 8°36' | 38°34' |
| TempMin 9H | 22,4 | 21,1 | 22,4 | 22,1 | 22,4 | 19,6 | 16 | 18 | 20,2 | 22,1 | 22,1 | 25,8 | 8°36' | 38°34' |

Tabela 14- Dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 – Produto LST_Night Aggregated - o 1º dia de cada mês e dados do CPTEC da mesma data

| MUNICIPIO | Jan/08 | fev/08 | mar/08 | abr/08 | Mai/08 | jun/08 | jul/08 | ago/08 | set/08 | out/08 | nov/08 | dez/08 | Lat | Long |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| FLORESTA 1 | 24 | 25,9 | 22,9 | 24,7 | 23,1 | | | 20,7 | 23,9 | 26,4 | 27,6 | 27,6 | 8°32' | 32°12' |
| FLORESTA 2 | 27,1 | 24,5 | 25,3 | 26,2 | 24,1 | 20,1 | | 22,5 | 24,8 | 27,2 | 28,1 | 28,1 | 8°36' | 38°34' |
| TempAr 9H | 22,7 | 22,5 | 22,4 | 22,1 | 22,5 | 19,6 | 21,3 | 18,7 | 20,3 | 23,2 | 23,2 | 26,4 | 8°36' | 38°34' |
| TempMax 9H | 34,1 | 35,3 | 30,9 | 31,5 | 32,7 | 29,1 | 28,8 | 29,9 | 33,1 | 35,5 | 35,5 | 38,4 | 8°36' | 38°34' |
| TempMin 9H | 22,4 | 21,1 | 22,4 | 22,1 | 22,4 | 19,6 | 16 | 18 | 20,2 | 22,1 | 22,1 | 25,8 | 8°36' | 38°34' |

Quantifica-se a seguir a semelhança dos resultados da temperatura utilizando correlações entre dois pontos da imagem Floresta 1 (lat=8°32', long= 32°12') e Floresta 2 (lat=8°36', long=38°34') para os quatro produtos LST_Day, LST_Day_Aggregated, LST_Night e LST_Night_Aggregated mostrados nas tabelas 11-13. Todos os resultados apresentam alta correlação, porém o produto LST_Day se mostrou como melhor resultado.

1. Correlação entre Floresta1 e Floresta2 = 0,986779018 (LST_Day) ←
2. Correlação entre Floresta1 e Floresta2 = 0,970201796 (LST_Day_Aggregated)
3. Correlação entre Floresta1 e Floresta2 = 0,959959733 (LST_Night)
4. Correlação entre Floresta1 e Floresta2 = 0,833612808 (e LST_Night_Aggregated)

As Figuras 26, 27, 28 e 29 são gráficos gerados a partir das Tabelas 10 a Tabela 13

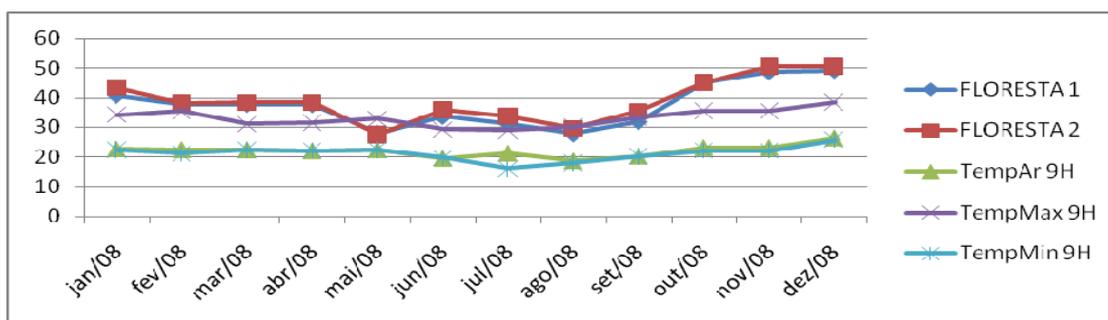


Figura 26 – Gráfico dos dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 – Produto LST_Day – 1º dia de cada mês.

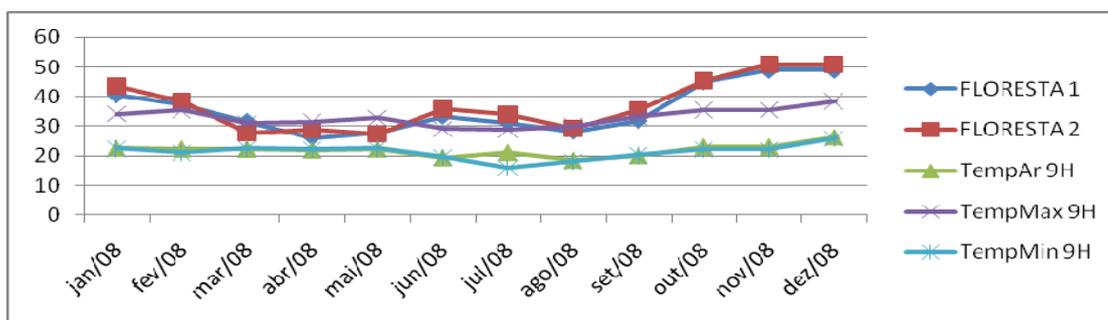


Figura 27 – Gráfico dos dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 – Produto LST_Day_Aggregated – 1º dia de cada mês.

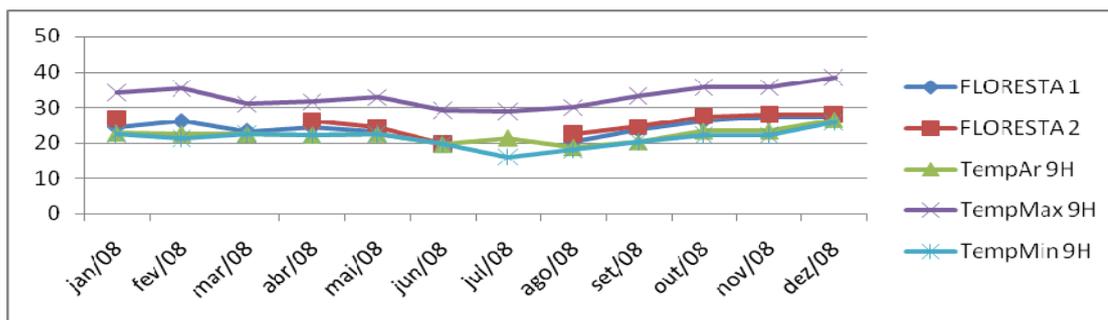


Figura 28 – Gráfico dos dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 – Produto LST_Night – 1º dia de cada mês.

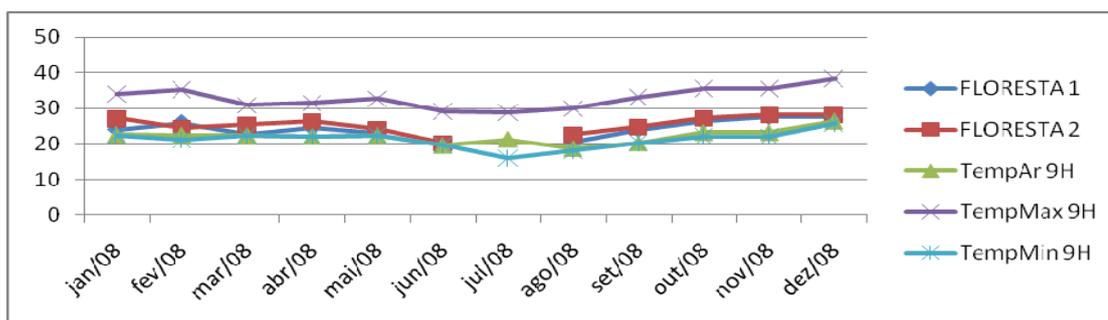


Figura 29 – Gráfico dos dados das imagens MODIS/TERRA na bacia do Pajeú em 2008 – Produto LST_Night_Aggregated – 1º dia de cada mês.

Comparando-se valores dos pontos Floresta 1 e Floresta 2 com a PCD para os quatro produtos nas Tabelas 11 a 13 e nos gráficos (Figuras 26-29) tem-se que os produtos LST_Night e LST_Night_Aggregated possuem melhores respostas de correlação entre os pontos Floresta 1 e Floresta 2 com a PCD. O ideal seria uma medição da PCD as 10:30H, mas não se tem este dado. Para se decidir qual o melhor resultado quantifica-se os produtos com os valores de temperatura mínima (TMin), Temperatura do Ar (TempAr) e Temperatura Máxima (TMax).

A quantificação das correlações para o Produto LST_Night no 1º dia de cada mês e dados do CPTEC é mostrada a seguir:

- Ponto Floresta 1:
 1. Correlação entre Floresta1 e TempMin9H = 0,692714008
 2. Correlação entre Floresta1 e TempAr9H = 0,817995251
 3. Correlação entre Floresta1 e TempMax9H = 0,899845297 ← Melhor resultado

- Ponto Floresta 2:
 1. Correlação entre Floresta2 e TempMin9H = 0,753570941

2. Correlação entre Floresta2 e TempAr9H = 0,821531327
3. Correlação entre Floresta2 e TempMax9H = 0,876661648 ← Melhor resultado

A quantificação das correlações para o Produto LST_Night_Aggregated no 1º dia de cada mês com dados do CPTEC é mostrada a seguir:

- Ponto Floresta 1:
 1. Correlação entre Floresta1 e TempMin9H = 0,66822273
 2. Correlação entre Floresta1 e TempAr9H = 0,795690814
 3. Correlação entre Floresta1 e TempMax9H = 0,893656712 ← Melhor resultado

- Ponto Floresta 2:
 1. Correlação entre Floresta2 e TempMin9H = 0,749680371
 2. Correlação entre Floresta2 e TempAr9H = 0,804814084 ← Melhor resultado
 3. Correlação entre Floresta2 e TempMax9H = 0,795847265

Os valores mostram que seria melhor optar pelo produto LST_Night e comparar com a temperatura máxima do campo. Recomenda-se tomar mais pontos em posições diferentes da imagem com as respectivas estações para verificar se este comportamento é de fato comprovado.

As imagens da Figura 30 apresentam as imagens de temperatura do MODIS/Terra para a bacia do Pajeú (LST_Night, LST_Night_Aggregated) para os meses para janeiro e agosto. As áreas em preto indicam falta de informação. As áreas mais quentes são mais claras e as áreas mais frias são mais escuras nas imagens.

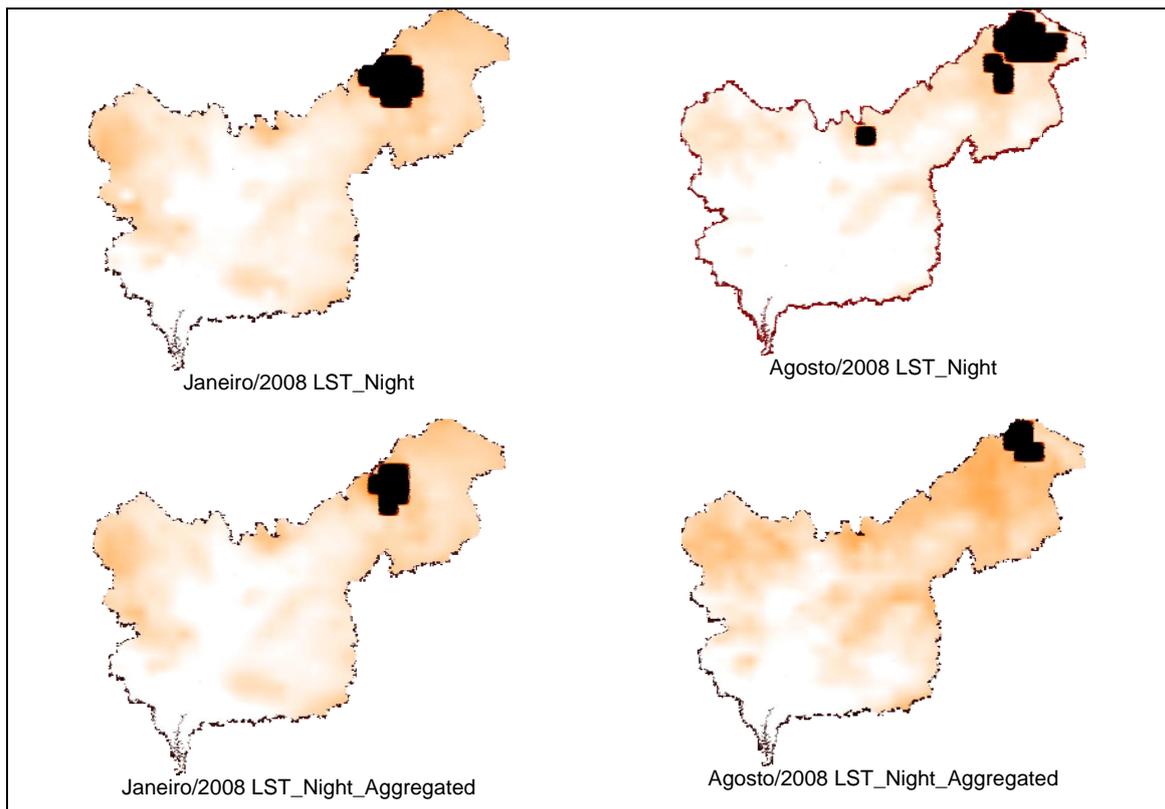


Figura 30 – Comparação dos produtos para Janeiro e Agosto.

ALBEDO COM O PRODUTO MCD43B1

O albedo analisado da área foi obtido pelo produto MCD43B1 para os meses de Janeiro de 2001 e Janeiro de 2009 (Figura 31). Valores mais altos de albedo são apresentados em tons mais claros, destacando assim locais onde ocorre a perda da vegetação (solo exposto). Já valores mais baixos de albedo se apresentam em tons mais escuros de nível de cinza, representando os locais onde há presença de vegetação e/ou umidade.

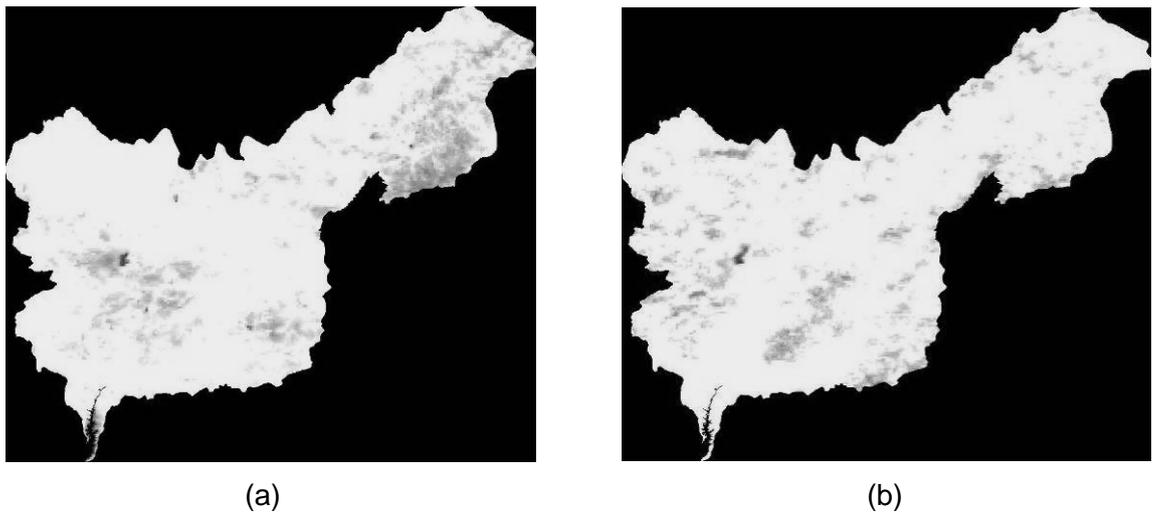
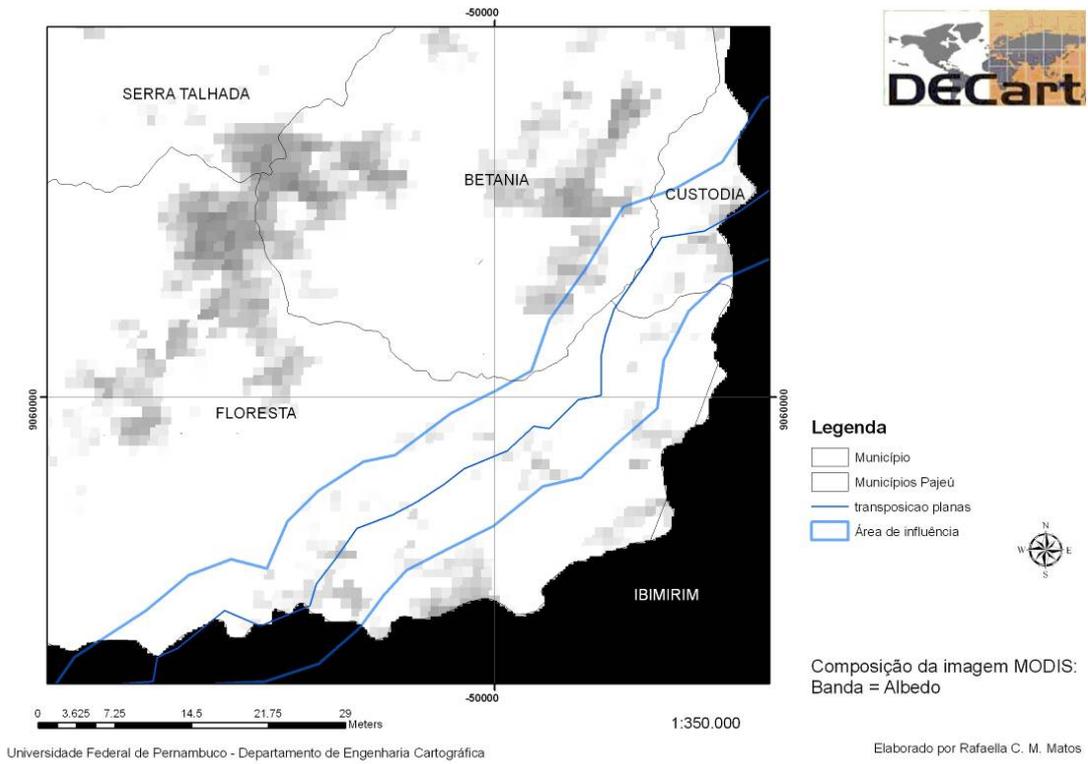


Figura 31 – (a) Albedo para Janeiro de 2001; (b) Albedo para Janeiro de 2009.

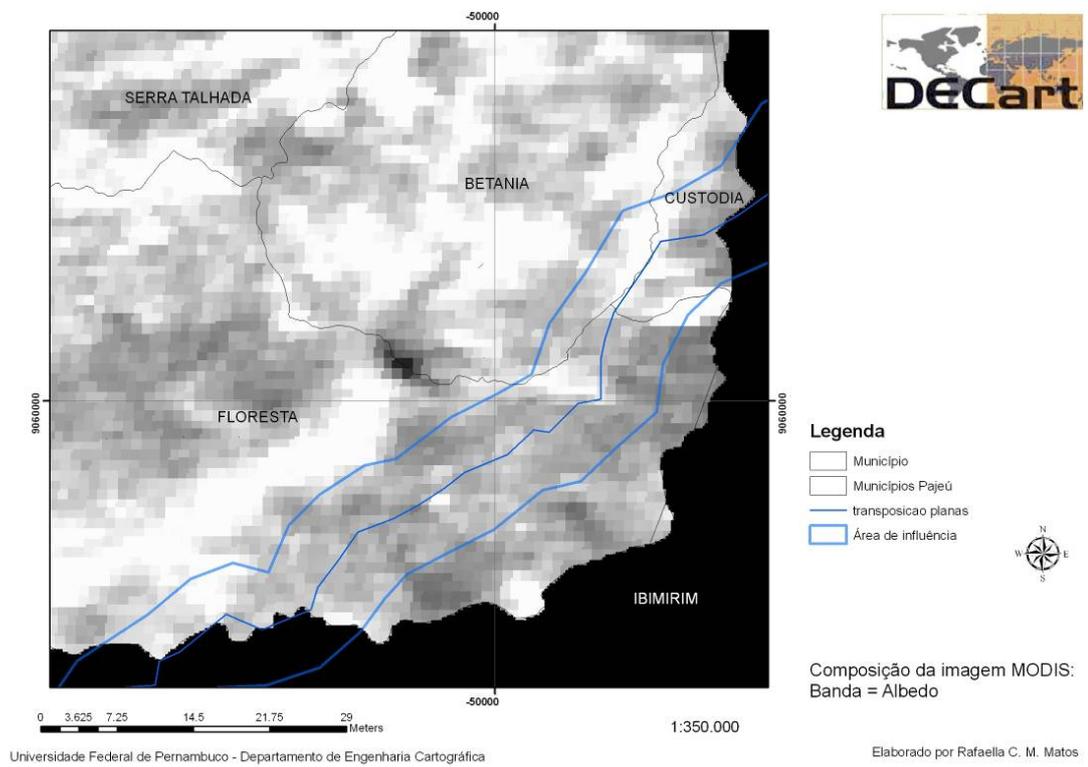
A redução da cobertura vegetal aumenta o albedo. Em Lopes (2005) tem-se um detalhamento de como o albedo é parâmetro do processo de desertificação.

A Figura 32 mostra o albedo em janeiro de 2001 e 2009 para a área da Bacia Hidrográfica do Pajeú com destaque para a região da transposição do São Francisco. Percebe-se que ocorreu uma diminuição do albedo nos municípios de Floresta, Betânia e Custódia, o que reflete aumento de cobertura vegetal em área, umidade, menos solo exposto.

Observa-se que a área de influência dos canais de transposição projetados é compatível com a resolução espacial do MODIS.

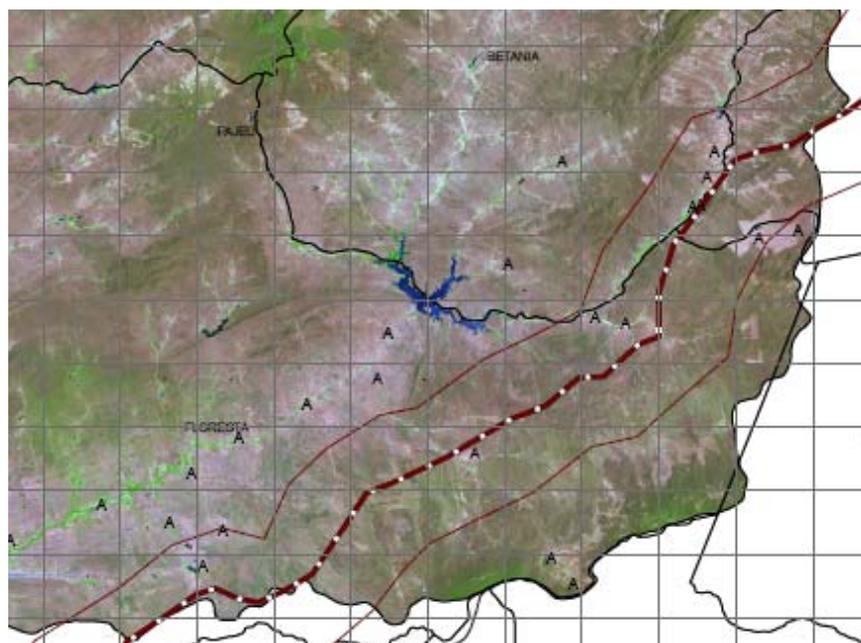


(a) Albedo janeiro de 2001

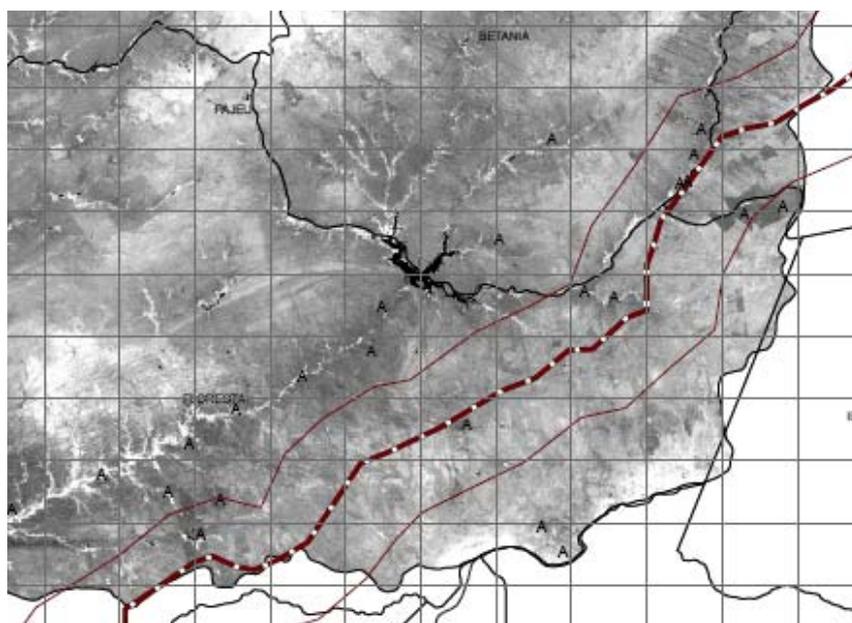


(b) Albedo janeiro de 2009

Figura 32 – Albedo na área da transposição do Rio São Francisco.



(d) TM543/LANDSAT5 – dez/2008

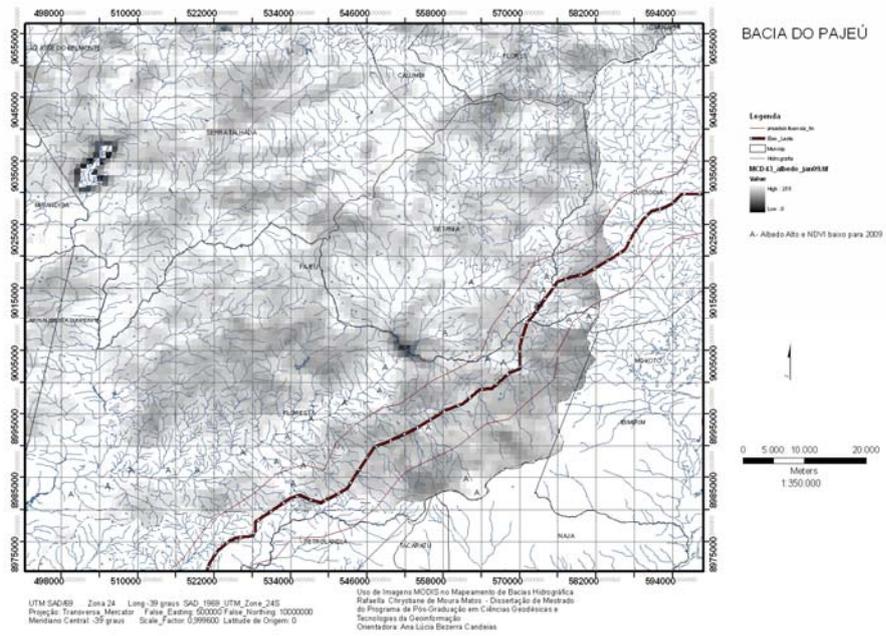


(e) NDVI TM/LANDSAT5 - dez/2008

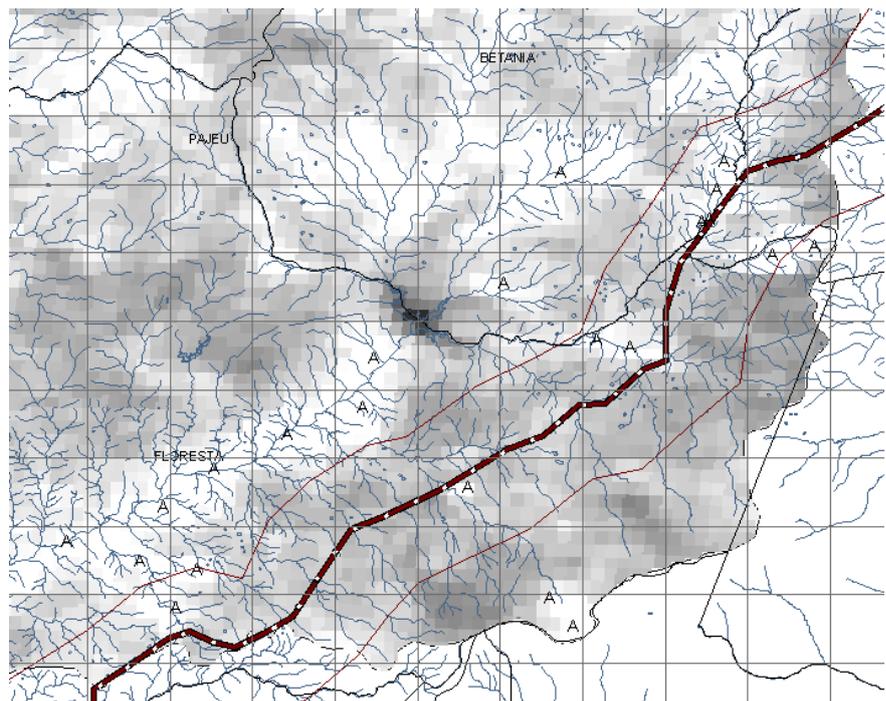
Figura 33 – Albedo e NDVI da Bacia do Pajeú.

RESULTADOS PARA REDE DE DRENAGEM

A Figura a seguir mostra a rede de drenagem na área da transposição do Rio São Francisco. Percebe-se que as áreas com valores altos de albedo estão próximas às redes de drenagem.



(a) Carta da rede hidrográfica sobreposta ao albedo.



(b) Ampliação da rede hidrográfica sobreposta ao albedo com a letra **A** indicando as áreas com solo exposto.

Figura 34 – Rede Hidrográfica e Albedo.

As Unidades Geoambientais, Solos, Aptidão Agrícola, Unidade de Paisagem e potencial de Irrigação foram extraídas do ZAPE (EMBRAPA-SOLOS) e são mostradas a seguir e comparadas com a localização de áreas com albedo alto.

UNIDADE GEOAMBIENTAIS

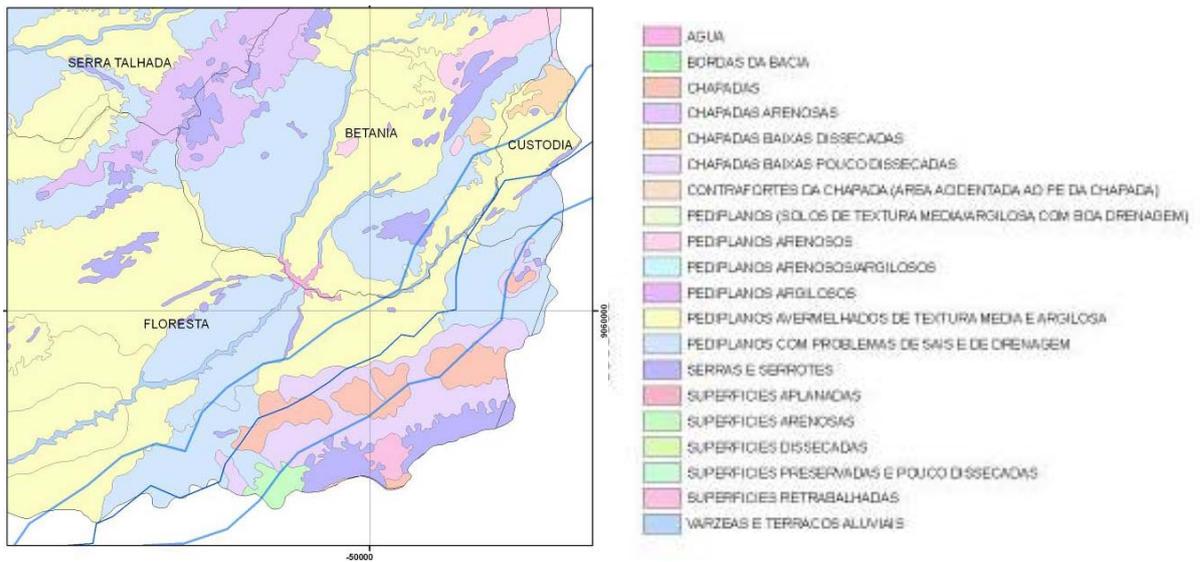
A partir da classificação das Unidades Geoambientais da Bacia do Rio Pajeú verificou-se a forte presença de Pediplanos avermelhados de textura média e argilosa, além de Pediplanos arenosos/argilosos, Pediplanos argilosos e Pediplanos com problemas de sais e drenagem.

Na área da transposição observa-se que as Unidades Geoambientais consistem em: Pediplanos com problemas de sais e drenagem, chapadas, pediplanos arenosos, pediplano avermelhado de textura média e argilosa e superfícies arenosas (Figura 35). Os valores de albedo alto estão nas áreas de várzeas e terraços aluviais e nos pediplanos com problemas de sais e de drenagem.

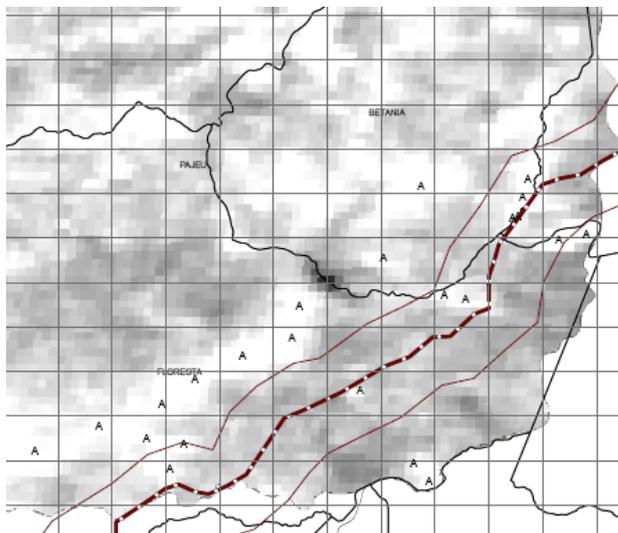
SOLOS

Os tipos de solos mais predominantes na área da Bacia do Rio Pajeú são os do tipo Luvissole Crômico, Argissolo Solodico e Neossolos (NC, Os e R).

Na área da transposição observa-se que há predominância dos solos Planossolo Solidizado (PS), Bruno Não-Cálcico(NC), Podzólico Amarelo e Latossolo Amarelo (Figura 36). Os valores de albedo alto estão nos solos aluviais(A), Planossolo Solidizado (PS), Bruno não-cálcico(NC) e Podzólico Vermelho Amarelo (PV). A tabela 14 mostra que a vulnerabilidade/estabilidade dos solos na área da transposição é de moderada a forte.



(a) Unidades Geoambientais para o trecho da transposição.



(b) Albedo

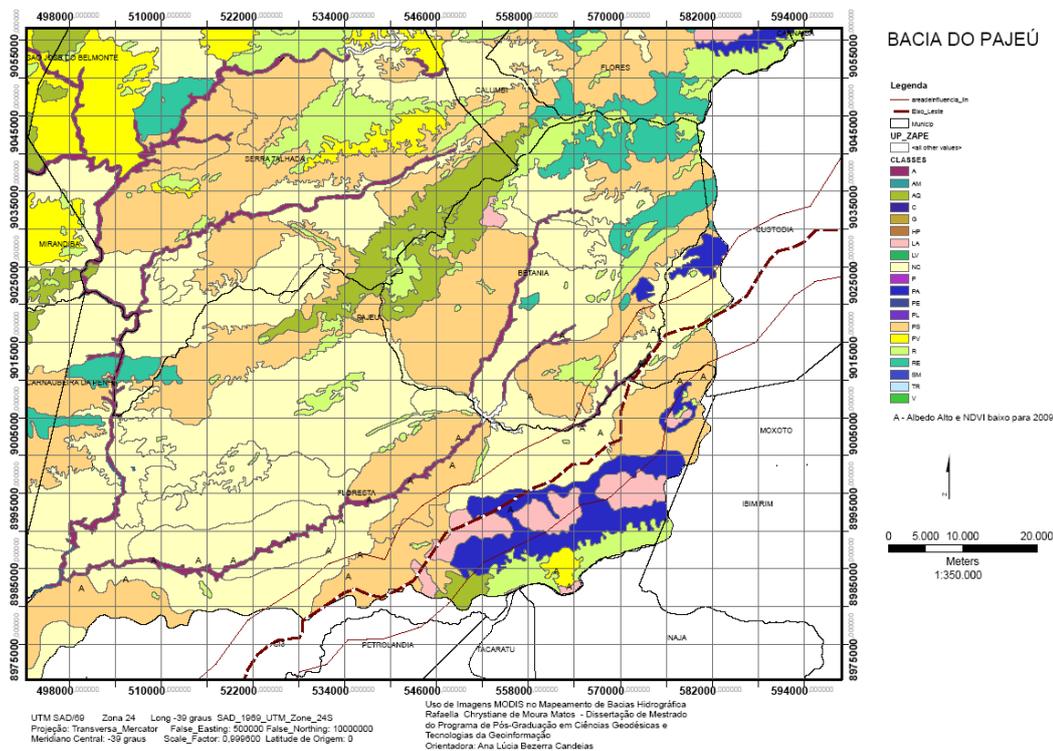
Figura 35 – Unidades Geoambientais na área da transposição.

Tabela 15 – Valores de vulnerabilidade/estabilidade para classes de solos baseados em Crepani (2001), Leprun (1977) e Sá (1994). Fonte: Silva 2007

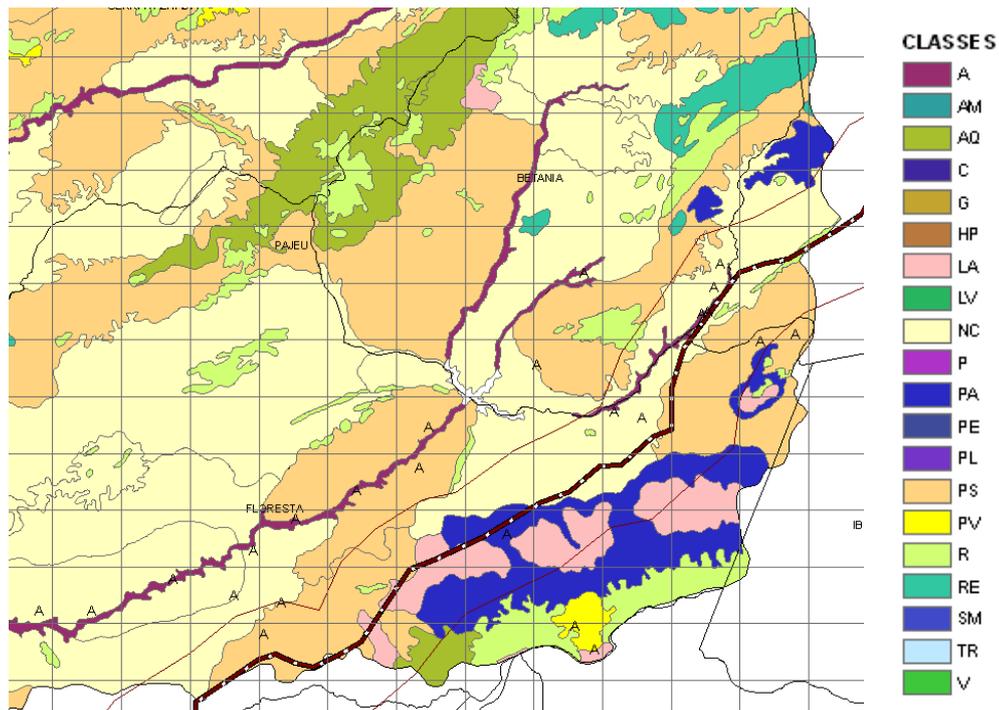
| CLASSES DE SOLOS | Crepani (2001) | Leprun (1977) | Sá (1994) | Valores de vulnerabilidade/ estabilidade adotados |
|---------------------------------|----------------|---------------|-------------|---|
| Solo Litólico (R) | 3,0 | Fraca | Muito Forte | 3,0 |
| Bruno não-cálcico (NC) | 2,0 | Moderada | Forte | 3,0 |
| Vertissolo (V) | 3,0 | Moderada | -- | 3,0 |
| Afloramento de rocha (AR) | 3,0 | -- | -- | 3,0 |
| Cambissolo (C) | 2,5 | Moderada | Moderado | 2,5 |
| Planossolo (PL)* | 2,0 | Forte | Moderado | 2,5 |
| Solonetz (SS)* | -- | Forte | -- | 2,5 |
| Podzólico Vermelho Amarelo (PV) | 2,0 | Moderada | Moderado | 2,0 |
| Regossolo (RE) | 3,0 | Moderada | -- | 2,0 |
| Solos Aluviais (A) | 3,0 | Fraca | -- | 2,0 |
| Areia Quartzosas (AQ) | 3,0 | Fraca | -- | 2,0 |

Fontes: Crepani et al. 2001; Leprun (1977) e Sá (1994 apud BRASIL, 2004b).

(*) - No ZAPE estas duas classes de solos e ncontram-se classificadas agrupadamente.



(a) Carta de solos na área da transposição.



(b) ampliação da área estudada.

Figura 36 – Solos na área da transposição.

APTIDÃO AGRÍCOLA

Diversos fatores intrínsecos do solo estão fortemente relacionados ao potencial agrícola de uma área, podendo assim viabilizar ou não a utilização da terra, estando assim associado diretamente a fertilidade natural, eficácia para armazenamento de água, não-susceptibilidade à erosão e impedimento ao uso de implementos agrícolas (LOPES, 2005).

A predominância de aptidão agrícola na Bacia do Rio Pajeú consiste em pastagem natural, seguida de terras agricultáveis de potencial restrito.

No caso da área da transposição tem-se uma área com presença de pastagem natural, terras agricultáveis de bom potencial e terras agricultáveis de potencial restrito (Figura 37).

UNIDADE DE PAISAGEM

A Unidade de Paisagem é composta principalmente pela presença de depressão sertaneja ao sul da Bacia do Rio Pajeú e uma grande área de Pediplano Central do Planalto da Borborema.

Na área da transposição observa-se que as Unidades de Paisagem predominantes na área da transposição são a depressão sertaneja e a Bacia sedimentar do Jatobá (Figura 38).

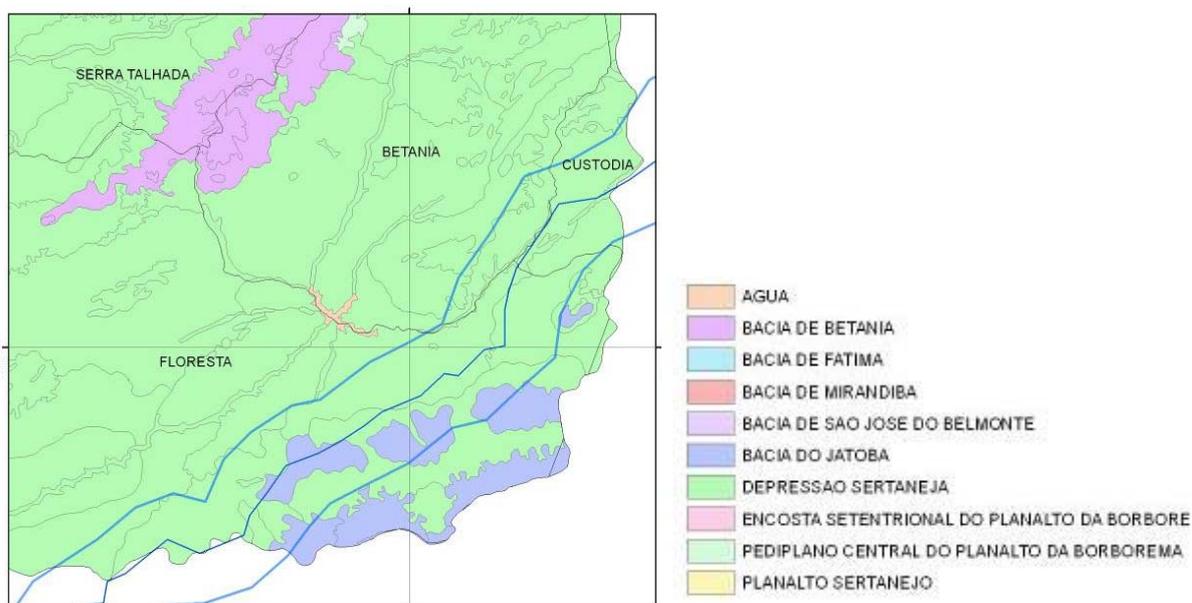
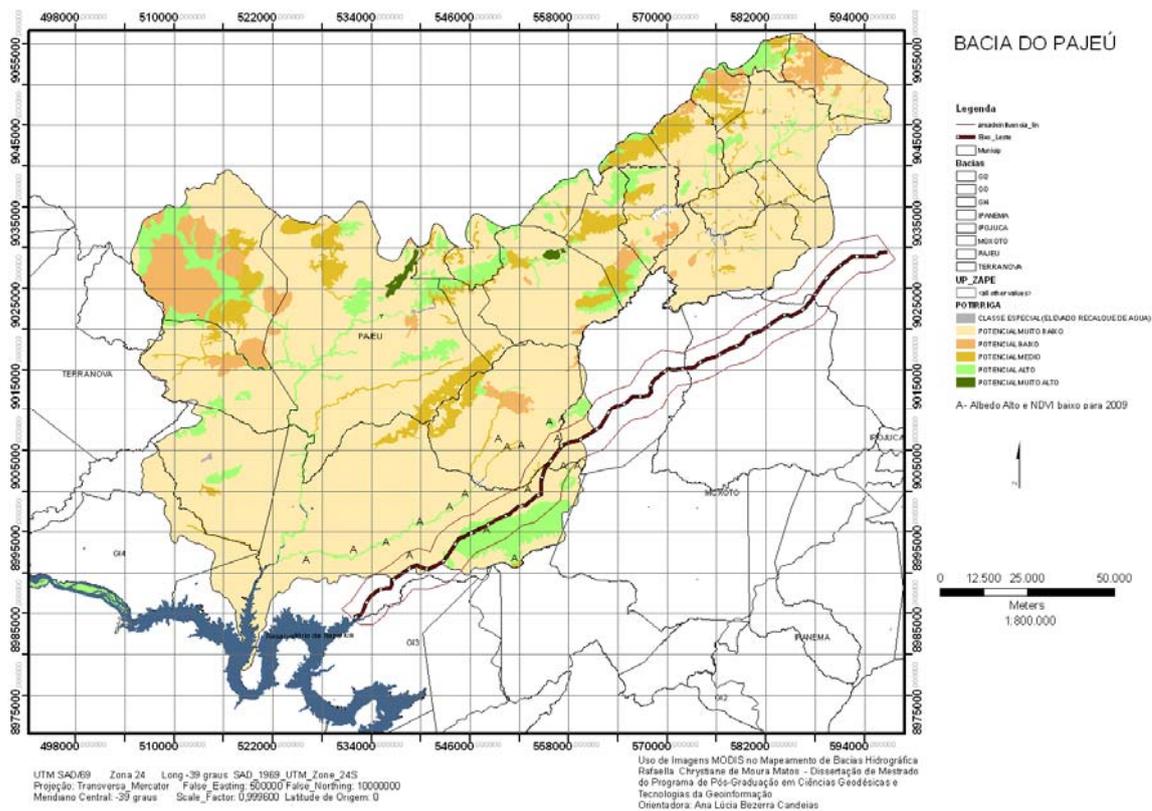


Figura 38 – Unidade de Paisagem na área da transposição.

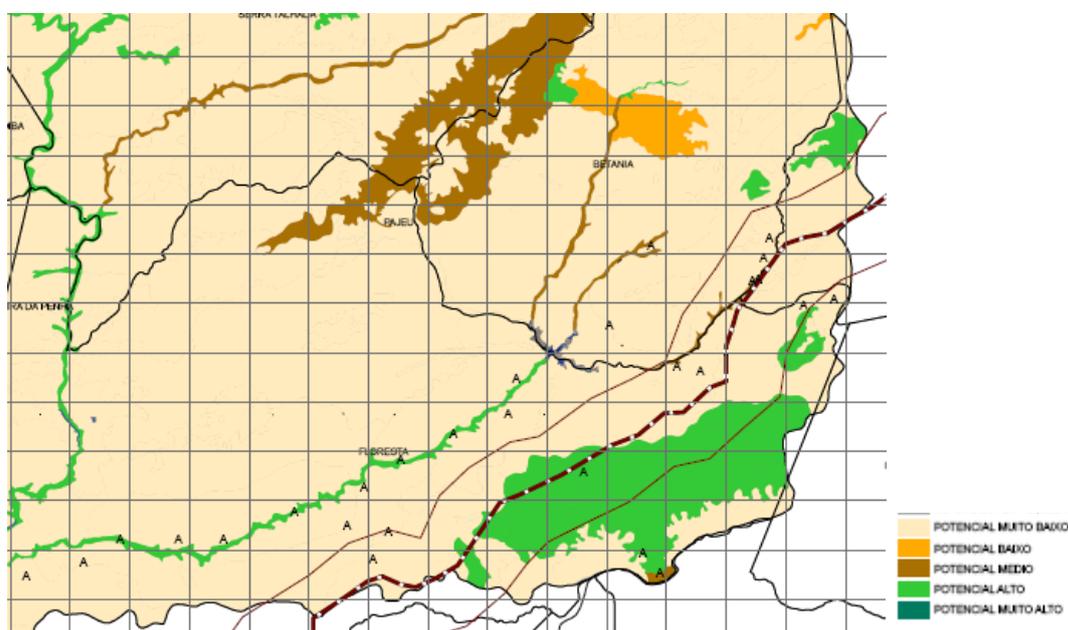
POTENCIAL DE IRRIGAÇÃO

A classificação do potencial de irrigação da área permitiu observar a predominância de um potencial para irrigação muito baixo para a bacia.

Na área da transposição observa-se que o Potencial de Irrigação da área de influência na margem esquerda da transposição apresenta um potencial muito baixo de irrigação, enquanto que na margem direita apresenta um potencial alto de irrigação (Figura 39). Em vários pontos onde se apresenta albedo alto tem-se também o o potencial de irrigação baixo.



(a) Potencial de irrigação para a Bacia



(b) Ampliação na área de interesse

Figura 39 – Potencial de Irrigação na área da transposição.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O MODIS é um sensor inovador ao ser comparado com os seus precursores, possuindo vantagens significativas em relação a estes, tais como melhor qualidade dos detectores e sistema de imageamento. A partir das imagens é possível obter um acompanhamento e monitoramento de alterações na superfície terrestre. Estes fatores têm viabilizado a utilização dos dados provenientes deste sensor para as mais diversas aplicações com o intuito de melhor conhecer e entender o nosso planeta.

Esta pesquisa mostrou como as imagens MODIS/Terra podem ser úteis em análise de bacias. Para o caso utilizou-se o exemplo da bacia do Pajeú localizada no estado de Pernambuco. As informações de solo, temperatura, NDVI ou EVI e Albedo podem auxiliar na gestão da área da transposição do São Francisco bem como prever possíveis problemas na área caso sejam instaladas áreas irrigadas. A parte sul da bacia do Pajeú por ter temperaturas mais altas, solos pobres e com possibilidade de salinização exige maiores cuidados.

Com as imagens do produto MOD13Q1 (NDVI e o EVI), compostas de 16 dias foi possível mapear grandes áreas com uma única imagem com as informações de vegetação e de solo exposto. Além disso, a gestão da área pode ser auxiliada a partir dos dados multitemporais já que o sensor MODIS está em funcionamento a mais de uma década coletando dados.

A coleta dos dados meteorológicos do CPTEC é disponibilizada de três em três horas e não coincide com o horário da aquisição das imagens MODIS que é as 10:30 horas da manhã. Decidiu-se então comparar estas imagens com os dados da PCD Floresta com lat= -8.°36' e long= -38°34' (WGS84) das 9 horas da manhã (TempMax ,TempAR, TempMin). Para esta análise, utilizou-se 12 medições de temperatura obtidas no 1° dia de cada mês do ano de 2008, da PCD e dos dois pontos da imagens. O produto MOD11B1 LST_Night obteve resultados com alta correlação dos dados de temperatura máxima (TempMax) medidos no horário da 9 horas da manhã para a PCD (CPTEC) Floresta. As correlações para um ponto Floresta 1 com lat = -8°32' e com long = -32°12' e Floresta 2 (lat = -8°36' e long = -38°34') foram respectivamente: 0,899845297 e 0,86661648. Mostra-se a viabilidade de utilização deste produto MOD11B1 (LST_Night) para uma visão primária de temperatura para grandes áreas. Como recomendação é sugerida realizar um estudo sobre

o comportamento da temperatura a partir destes produtos variando a altitude e de coordenadas latitude e longitude bem como se trabalhar com um conjunto maior de pontos.

Analisar albedo é importante em estudos de processo de desertificação (LOPES, 2005). Com o produto MODIS MCD43B1 obtém-se facilmente o albedo de grandes. No caso da bacia do Rio Pajeú observou-se o aumento do albedo em algumas áreas próximas a transposição do Rio São Francisco – Eixo leste. Analisou-se estes resultados com o NDVI, imagem TM/LANDSAT de 2009 e seu NDVI, Unidades Geoambientais, Solos, Aptidão Agrícola, Unidade de Paisagem e potencial de Irrigação foram extraídas do ZAPE (EMBRAPA-SOLOS). O que se concluiu é que a área de influência direta da transposição de São Francisco é dada por:

- Pediplanos com problemas de sais e drenagem, chapadas, pediplanos arenosos, pediplano avermelhado de textura média e argilosa e superfícies arenosas. Os valores de albedo alto estão nas áreas de várzeas e terraços aluviais e nos pediplanos com problemas de sais e de drenagem.
- Existe a predominância dos solos Planossolo Solidizado (PS), Bruno Não-Cálcico(NC), Podzólico Amarelo e Latossolo Amarelo (Figura 45). Os valores de albedo alto estão nos solos aluviais(A), Planossolo Solidizado (PS), Bruno não-cálcico(NC) e Podzólico Vermelho Amarelo (PV). A vulnerabilidade/estabilidade dos solos na área da transposição é de moderada a forte.
- A área possui a presença de pastagem natural, terras agricultáveis de bom potencial e terras agricultáveis de potencial restrito.
- A área está localizada na depressão sertaneja e a Bacia sedimentar do Jatobá.
- Observa-se que o potencial de irrigação da área de influência na margem esquerda da transposição apresenta um potencial muito baixo de irrigação, enquanto que na margem direita apresenta um potencial alto de irrigação. Em vários pontos tem-se albedo alto e o potencial de irrigação baixo.

Recomenda-se pesquisas detalhadas de campo com dados georreferenciados com relação ao solo, vegetação, temperatura e albedo para ser possível obter uma análise estatística comparativa dos produtos MODIS e sua verdade terrestre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, LO. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**, 2004. 247p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

ANDERSON, LO.; SHIMABUKO, YE. . **Classificação espectro-temporal de formações vegetais**. In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007.

ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; LIMA, E. P.; MENEZES, S. J. M. C. **Saldo de radiação e fluxo de calor no solo na região do município de Juiz de Fora, MG**. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, IPABHi, p. 371-373.

BARKER, JL.; HARDEN, MK.; ANUTA, EA.; SMID, J. e HOUGHT, D. **MODIS spectral sensivity study: requirements and characterization**. Washington: Nasa, Oct, 1992, 84p.

BASTIAANSEN, W. & BAKKER, M. **Use of satellite data in agricultural water management**. EMBRAPA semi-árido. 2000.

BASTIAANSEN, W. G. M., 2000, "**SEBAL-based sensible and latent heat flux in the irrigated Gediz basin, Turkey**", *Journal of Hydrology*, v. 229, pp. 87 – 100.

BESKOW, S.; MELLO, CR.; COELHO, G.; SILVA, AM.; VIOLA, MR. **Estimativa superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída**. Revista Brasileira de Ciência o Solo, N 33, PP 169-178, 2009.

BISWAS, AK.; **Water development and environment**. In: BISWAS (ed), **Water resources environmental planning, management and developing**. Oxford: 1998.

BUCKERIDGE, M. S.; MORTARI, L. C. ; MACHADO, M. R. **Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema?**. IN: REGO, G. M.; NEGRELLE. R. R. B; MORELLATO, L. P. C. **Fenologia - Ferramenta para conservação e manejo de recursos vegetais arbóreos** (Editores Técnicos). - Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2007.

CHUVIECO, E.; JUSTICE, C. **NASA Earth observation satellite missions for global change research**. In: CHUVIECO, E. **Earth observation of global change: the role of satellite in monitoring the global environment**. SPRINGER: 2007.

CIRILO, A. **Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido**. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2009. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200005&lng=e&nrm=iso&tlng=e consultado em 8/07/2009.

CORREIA, A.; CASTANHO, ADA.; MARTINS, JV.; LONGO, KM.; YAMASOE, MA.; ARTAXO, P. **Inferência de aerossóis**. In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007.

COSTA, LM.; LAGES, LTS. **Mudanças climáticas e desmatamento: uma análise do discurso dos jornais Folha de São Paulo e O Globo no contexto da divulgação do relatório final do IPCC em 2007.** In: IV encontro nacional da Anppas, 4-6 Julho 2008. Brasília, DF.

CREPANI, Edson; Medeiros, José S; HERNANDEZ FILHO, Pedro; FLOREZANO, Teresa G.; DUARTE, Valdete; BARBOSA, Claudio, C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico - Econômico e ao Ordenamento Territorial.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2001.

DICKINSON, R. E. e P. J. KENNEDY, 1992: **Impacts on regional climate of Amazonian deforestation.** Geophys. Res.Letters, 19, 1947-1950.

DINER, DJ.; BECKERT, JC.; REILLY, TH.; BRUEGGE, CJ.; CONEL, JE.; KAHN, RA.; MARTONCHIK, JV.; ACKERMAN, TP.; DAVIES, R.; GERSTL, SAW.; GORDON, HR.; MULLER, J-P.; MYNENI, R.; SELLERS, PJ.; PINTY, B.; VERSTRAETE, MM. **Multi-angle spectroradiometer (MIRS) instrument description and experiment overview.** In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Outubro: 1997.

ESAIAS, WE.; ABBOTT, MR.; BARTON, I.; BROWN, OB.; CAMPBELL, JW.; CARDER, KL.; CLARK, DK.; EVANS, RH.; HOGE, FE.; GORDON, HR.; BALCH, WM.; LETELIER, R.; MINNETT, PJ. **An overview of MODIS capabilities for ocean science observations.** In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, N. 4, Julho: 1998.

ESPIG, S. A., SOARES, J. V., SANTOS, J. R. **Variações sazonais do evi e ndvi em áreas do semi-árido brasileiro.** VII Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal. Curitiba, Paraná, 2006 , CDROM. <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2006/11.07.12.16/doc/espig.pdf> consultado em 28/07/2009

FERRAZ, R. P. D.; MEIRELLES, M. S. P.; JOBÁGGY, E.; JONATHAN, M.; COUTINHO, H. L. C. **Utilização de dados MODIS e modelo SEBAL para a estimativa da perda de água por evapotranspiração: Uma proposição metodológica para o monitoramento do impacto da expansão da cultura canavieira na dinâmica hídrica regional.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 175-182.

FOMIGONI, M. H. **Análise Multi-Temporal da Vegetação na Região Nordeste do Brasil através do EVI do Sensor MODIS.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, Espírito Santo, 2008.

FREITAS, S. R. C., LAZZAROTTO, D. R., SLUTER, C. R., LUZ, R. T. 2004. **Avaliação da compatibilidade dos sistemas geodésicos de referência no Brasil.** Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 10, nº 2, p.225-239, jul-dez, 2004.

GAO, X.; HEUTE, AR.; NI, W.; MIURA, T.; **Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination.** In: Remote Sensing of environment, Vol 74, p. 609-620. 2000.

GUERRA, A. T. - **Dicionário Geológico-Geomorfológico.** Rio de Janeiro: IBGE, 1980.
HEIDINGER, AK.; ANNE, VR.; DEAN, C. **Using MODIS to estimate cloud contamination of the AVHRR data record.** In: Journal of atmospheric and oceanic technology, Vol 19, 2001.

HEUTE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices.** In: Remote Sensing of environment, Vol. 83, p. 195-213. 2002.

HEUTE, A.; JUSTICE, C.; LIU, H. **Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS.** In: Remote Sensing of environment, Vol 49, p. 224-234, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2005. **Resolução do Presidente R.PR - 1/2005** – Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. 8p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2008. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos.** 35p.

JUSTICE, CO.; TOWNSHEND, JRG.; VERMOTE, EF.; MASUOKA, E.; WOLFE, RE.; SALEOUS, N.; ROY, DP.; MORISETTE, JT. **An overview of MODIS land data processing and product status.** In: Geoscience and Remote Sensing Symposium. Sydney, Australia, IGARSS, p 1454-1457, 2002.

JUSTICE, CO.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, JRG.; DEFRIES, R.; ROY, PD; HALL, DK, SALOMONSON, V.; PRIVETTE, JL.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, B; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, WS.; NEMANI, RR.; WAN, Z.; HUETE, AR.; LEEUWEN, WV.; WOLFE, RE.; GIGLIO, L.; MULLER, JP; LEWIS, P.; BARNSLEY, M. **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research.** In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.36, n.4, p.1228-1247, July, 1998.

KAUFMAN, YJ.; HARRING, DD.; RANSON, KJ.; COLLATZ, GJ. **Earth observing system AM1 mission to Earth.** In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 36, N 4, Julho: 1998.

KAUFMAN, YJ.; JUSTICE, CO.; FLYNN, LP.; KENDALL, JD.; PRINS, E.; GIGLIO, L.; WARD, DE.; MENZEL, WP.; SETZER, AW. **Potential global fire monitoring from EOS-MODIS.** In: Journal of Geophysical Research, Vol. 103, n.D24, p. 32315-32238. 1998.

LAMBRIGTSEN, BH.; CALHEIROS, RV. **The humidity sounder for Brazil – an international partnership.** In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 41, N 2, Fevereiro: 2003.

LATORRE, ML.; SHIMABUKO, YE.; ANDERSON, LO. . **Produtos para ecossistemas terrestres - MODLAND.** In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil.** São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007.

LEPRUN, Jean-Calude. **Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo no Nordeste Brasileiro (1982-1983).** Recife: SUDENE-RDN, 1986.

LIANG, S.; FANG, H.; CHEN, M.; SHUEY, CJ.; WALTHALL, C.; DAUGHTRY, C.; MORISETTE, J.; SCHAAF, C.; STRAHLER, A. **Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: methods and preliminary results.** In: Remote sensing of environment, Vol. 83, N 1, p. 149-162, 2002.

LOPES, HL. **Modelagem de parâmetros biofísicos para avaliação de risco à desertificação,** 2005. 101p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em

Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

LOPES, PMO.; SILVA, BSG.; BOTTINO, MJ.; VALERIANO, DM. **Modelagem da irradiância solar incidente**. In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007.

LOPES, PMO.; VALERIANO, DM. **Validação do albedo da superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas**. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil, 21-26 Abril 2007, INPE, p 2805-2812.

LPDAAC. **Land Processes Distributed Active Archive Center**. Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table/vegetation_indices/16_day_l3_global_250m/v5/terra. 19, Novembro, 2008.

MADEIRA NETO, JS. **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: UNB, 2001. 262p.

MASUOKA, D.; TILMES, C.; DEVINE, N. YE, G.; TILMES, M. **Evolution of the MODIS science data processing system**. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. IGARSS.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL.
<http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/documentos/index.asp> consultado em 8/07/2009.

MONICO, J. F. G. 2000. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS. Descrição, fundamentos e aplicações**. Editora UNESP. 287p.

MONICO, J. F. G. 2005. **O estado da arte em referenciais geodésicos: ITRF2000 e as próximas realizações do ITRF**. *Bol. Ciênc. Geod.* Curitiba, v.11, n.2, p.261-77, jul-dez.

MONICO, J. F. G. 2007. **Posicionamento pelo GNSS. Descrição, fundamentos e aplicações**. Editora UNESP. 476p.

MOREIRA, RC. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. São José dos Campos. 181p. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

NASA, 2002. MODISweb.[on- line]. <Http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd.mod14.pdf>>

ODUM, P. **Ecologia**. Nueva Editorial Interamericana, México, DF, México. 639p. 1972.

OKE, TR. **Boundary Layer Climates**. 2nd. Ed. Methuen, 289p., 1987.

PAGANO, TS.; AUMANN, HH.; STROW, LL. **Pre-launch performance characteristics of the atmospheric infrared sounder (AIRS)**. Conference on sensors, systems and next generation satellites VI (Rs04). Vol 4169, p. 268-278. 2000.

PARKINSON, CL.; **Aqua: an Earth observing satellite mission to examine water and other climate variables**. In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 41, N 2, Fevereiro: 2003.

PONZONI, F.J. **Comportamento espectral da vegetação**. In: Meneses, P.R.; Madeira Neto, J.S. **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília, DF: UNB Planaltina Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

RESENDE, T. M., MORAIS, M. F. & PACHECO, P. P. - **Exploração mineral na porção Norte do Município de Uberlândia: o caso de Cruzeiro dos Peixotos**. Caminhos de Geografia, 8(23):140-146, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, RS, Brasil. (2007).

RIGHETTO, AM. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. EESC-USP/REENGE. P819. 1998.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. **Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat**. Revista Brasileira de Cartografia, v.57, p.226-234, 2005.

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.

ROSA, R.; ROSENDO, JS. **Exemplo de aplicação do produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS/Terra**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16-21, Abril, 2005. Goiânia, Brasil. INPE, PP. 3285-3292.

RUDORFF, BFT.; BERKA, LMS.; SUGAWARA, LM.; MOREIRA, MA.; DUARTE, V.; XAVIER, AC.; ROSA, VGC.; SHIMABUKURO, YE. **Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano-safra 2003/04**. Agricultura São Paulo. v. 52, n. 1, p. 21-39, 2005.

SALGUEIRO, JH P B ; MONTENEGRO, S. M. G. L. . **ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO PAJEÚ EM PERNAMBUCO SEGUNDO MÉTODO GEOESTATÍSTICO**. In: I ENCONTRO NACIONAL DE HIDROINFORMÁTICA, 2008, FORTALEZA - CEARÁ. CD ROM DO I ENCONTRO NACIONAL DE HIDROINFORMÁTICA, 2008.

SAMPAIO, CS. **Abordagem metodológica baseada nos dados multitemporais MODIS EVI/NDVI para classificação da cobertura vegetal na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO**, 2007. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, 2007.

SECTMA. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Plano estadual de recursos hídricos do estado de Pernambuco**. v.1, Pt. II e III. Recife, 1997.

SEEBER, G. 2003. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2a. ed. Berlin, New Yorker: Walter de Gruyter, 2003. 588p.

SHIMIZU, H., NISHIYAMA, K., and TOKUDA, H. (1997) **Expression of *gpsA* encoding biosynthetic *sn-glycerol 3- phosphate dehydrogenase* suppresses both the LB-phenotype of a *secB* null mutant and the cold-sensitive phenotype of a *secG* null mutant**. Mol. Microbiol. 26: 1013-1021.

SILVA, E.T.J.B. **Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias**. 2004, 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

SILVA, V. U. F. **Zoneamento Ambiental com Instrumento de Gestão para Avaliação da Vulnerabilidade ao Processo de Desertificação: Análise do Município de Salgueiro - PE. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Mestrado de Gestão e Políticas Ambientais.** Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SMITH, J.R. **Introduction to geodesy.** New York , John Wiley & Sons, 1997. 224 p.
SOARES, JV.; BATISTA, GT.; SHIMABUKO, YE. **Histórico e descrição.** In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil.** São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007.
teoria de redes pode ajudar a compreender o presente e planejar o futuro? Multiciência 8 (www.multiciencia.unicamp.br) no prelo. 2007.

TORGE, W. **Geodesy.** 3rd edn. Berlin: Walter de Gruyter, 2001. 416 p.
United Nations, (UN). **The Convention to Combat Desertification.** United Nations: New York. ONU. 2001.

VERMOTE, E., EI SALEOUS, N., & JUSTICE, C. (2002). **Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: First results.** Remote Sensing of Environment, 83, 97–111.

WIELICK, BA.; BARKSTROM, BR.; BAUM, BA.; CHARLOCK, TP.; GREEN, RN.; KRATZ, DP.; LEE, RB.; MINNIS, P.; SMITH, GL.; WONG, T.; YOUNG, DF.; CESS, RD.; COAKLEY, JA.; CROMMELYNCK, DAH.; DONNER, L.; KANDEL, R.; KING, MD.; MILLER, AJ.; RAMANATHAN, V.; RANDALL, DA.; STOWE, LL.; WELCH, RM. **Clouds and the Earth's radiant energy system (CERES): algorithm overview.** In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 36, N 4, Julho: 1998.
WOLFE, RE.; ROY, DP.; VERMOTE, E. **MODIS land data storage, gridding, and compositing methodology: level2 grid.** In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, N. 4, Julho: 1998.

YAMAGUCHI, Y.; KAHLE, AB.; TSU, H.; KAWAKAMI, T.; PNIEL, M. **Overview of advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER).** In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 36, N 4, Julho: 1998.

ANEXO 1

SENSOR MODIS – HISTÓRICO E DESCRIÇÃO

O homem é responsável por muitas das alterações que ocorrem na Terra, sejam estas mudanças de ordem climática, ambientais ou sócio-econômicas. A incerteza gerada com relação a grandiosidade destas mudanças combinado com o desconhecimento dos mecanismos utilizados pela natureza para recuperar os danos causados, estimulou, em 1980, o surgimento do programa EOS (*Earth Observing System*) liderado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) (JUSTICE et. al., 2002).

Este programa surgiu para estudar os processos de mudanças globais com o objetivo de permitir uma observação contínua destas mudanças por pelo menos 15 anos. A comunidade científica voltou-se para a construção de modelos da dinâmica global da Terra, seja estes modelos atmosférico, oceânico ou terrestre (KAUFMAN et. al., 1998).

Para a construção destes modelos, a comunidade científica deparou-se com a necessidade de gerar informações a respeito da dinâmica dos ecossistemas com maior precisão e repetitividade.

A idéia do EOS foi importante com relação ao desenvolvimento de tecnologias de sensoriamento remoto baseadas em plataformas orbitais com diferentes sensores a bordo, responsáveis por coletar diferentes tipos de dados com as mesmas condições de atmosfera, iluminação solar e visada (SOARES et. al., 2007).

A partir desta concepção surgiu então o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que originou-se de vários sensores precursores, sendo que o principal deles foi o AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), a bordo do satélite NOAA (*National Oceanic and Atmosphere Administration*), responsável por monitorar o tempo e o clima, entre os anos de 1978 e 1986. a partir de 1981 o AVHRR a bordo do NOAA-7 passou a operar com cinco bandas espectrais nos comprimentos de onda correspondentes a região do visível (VIS), infravermelho próximo (IVP), infravermelho médio (IVM) e infravermelho termal (IVT) do espectro eletromagnético (HEIDINGER e DEAN, 2001).

Outro sensor precursor do MODIS foi o CZCS (*Coastal Zone Color Scanner*), o qual captava variações sutis da reflectância nas águas oceânicas, graças a seis bandas espectrais e boa resolução radiométrica (ESAIAS et. al., 1998).

Com a experiência adquirida com os sensores de monitoramento global iniciou-se a coleta dos requisitos calibração e processamento dos dados MODIS, que hoje opera a bordo de duas plataformas: Terra e Aqua (SOARES et. al., 2007).

Plataforma Terra

A plataforma Terra foi a primeira do programa EOS, o satélite teve seu lançamento em 18 de Dezembro de 1999 e o começo da coleta das informações se deu a partir de Fevereiro de 2000. Inicialmente foi chamado de EOS-AM, por suas observações se darem no período da manhã, com passagem no horário de 10h e 30 min da manhã na região do Equador (CHUVIECO e JUSTICE, 2007).

O sensor Terra (Figura A.1) transporta cinco sensores responsáveis por coletar os mais diferentes tipos de informações e para diferentes propósitos, sendo estes: CERES (*Clouds and Earth's Radiant Energy System*), MODIS, MISR (*Multi-angle Imaging Spectroradiometer*) da NASA, ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal emission and Reflection Radiometer*) do Japão e o MOPITT (*Measurement of Pollution in the Troposphere*) do Canadá (JUSTICE et al., 2002), algumas especificações podem ser observadas na Tabela A.1.

Os objetivos das pesquisas realizadas sob a plataforma Terra consistem em estudar nuvens, vapor d'água, aerossóis, balanço de radiação, ciclo de carbono, superfície da Terra além da interação destes componentes que afetam a energia da Terra e o clima (KAUFMAN et. al., 1998).

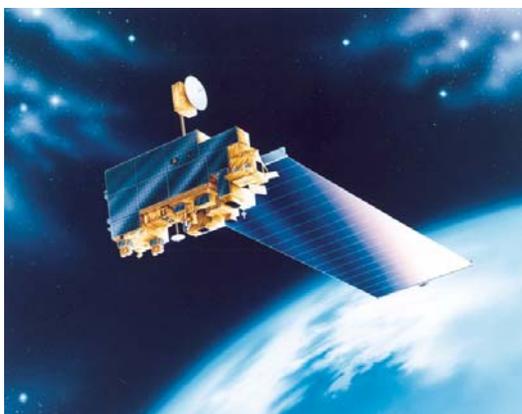


Figura A.1 – Plataforma Terra. Fonte: NASA, 2009.

Tabela A.1 - Especificações de órbita da plataforma Terra.

| | |
|------------------------------------|--|
| Órbita | Quase polar e heliossíncrona |
| Inclinação | 98,2° |
| Passagem pelo Equador | 10h e 30min da manhã no Equador |
| Excentricidade | 0,0012 |
| Órbita de altitude média | 707,8 Km |
| Altitude variável | 700 a 737 Km |
| Ciclo de repetitividade | 16 dias no Equador |
| Distância entre órbitas adjacentes | 172 Km |
| Período orbital | 98,88 minutos |
| Precisão de determinação da órbita | 150 m |
| Precisão da repetição | <20 Km |
| Dimensões | Aproximadamente 6,8 m de largura x 3,2 de diâmetro |
| Peso do satélite | 5.190 Kg |
| Carga útil | 1.155 Kg |
| Taxa de transmissão de dados | 12,5 – 15 Mbps (transmissão direta) 105 Mbps (transmissão de gravação) 16 Kbps (telemetria) 10 Kbps (comando de operação) |

Fonte: Adaptado de *Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC)*, 2002.

Plataforma Terra e seus outros sensores

A plataforma Terra é uma missão importante da NASA em parceria com agências aeroespaciais do Canadá e do Japão lançada em dezembro de 1999 com previsão de vida útil de cinco anos e possui importantes instrumentos sensores a bordo, que são os sensores ASTER, CERES, MISR, MODIS e MOPITT em uma órbita polar e heliossíncrona.

O sensor ASTER é o único instrumento a bordo do satélite Terra a coletar dados de alta resolução espacial (15 a 90 metros) e espectral (14 bandas espectrais) que variam do visível ao infravermelho termal (KAUFMAN et. al., 1998). Os dados deste sensor auxiliam no mapeamento do solo, geologia, uso do solo, e mudança na cobertura do solo (YAMAGUCHI et. al., 1998).

Existem dois sensores CERES idênticos a bordo do satélite Terra, um com varredura perpendicular a trilha para determinar redes de nuvens radioativas e outro com varredura biaxial (WIELICK et. al.; 1998). As bandas espectrais do CERES variam de 0.3 a 200 µm e

com resolução espacial de 20 Km (NASA, 2002). Este sensor realiza a medição da energia radiante emitida e refletida da superfície terrestre e da atmosfera, além de medir o fluxo da radiação que atinge a atmosfera para monitorar o balanço de energia da Terra (MOREIRA, 2000).

O sensor MIRS faz a observação da Terra utilizando quatro faixas espectrais. As imagens geradas pelo MIRS apresentam resolução moderada de 275 m a 1.1 Km em nove diferentes ângulos de visada que permitem estudar a cobertura da superfície, aerossóis e nuvens estereoscopicamente (DINER et. al., 1997).

O sensor MOPITT possui oito canais que medem a radiância em três comprimentos de ondas na faixa do infravermelho proporciona a geração de mapas de CO em três camadas de altitude e mapas de CH₄ global com resolução de 22 Km (KAUFMAN et. al., 1998).

Plataforma Aqua

A plataforma Aqua foi a segunda do programa EOS. Este satélite foi lançado no dia 4 de Maio de 2002 para complementar os dados obtidos pelos sensores do Terra. Inicialmente foi chamada de EOS-PM, por suas observações cruzarem o Equador no período da tarde as 13h e 30min (JUSTICE et. al., 2002).

O Aqua (Figura A.2) transporta seis sensores, que são: AIRS (*Atmospheric Infrared Sounder*), AMSU-A (*Advanced Microwave Sounding Unit-A*), HSB (*Humidity Sounder for Brazil*), AMSR-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS*), MODIS e CERES. Especificações sobre o satélite Aqua podem ser observadas na Tabela A.2.

Os objetivos das pesquisas realizadas com suporte de dados Aqua são subsidiar a coleta de informações sobre ciclo de água, evaporação dos oceanos, vapor d'água na atmosfera, nuvens, precipitação, umidade da superfície de terra e cobertura de neve (SOARES et. al., 2007).

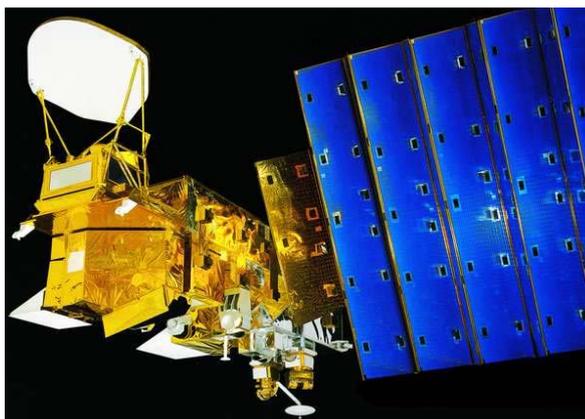


Figura A.2 – Plataforma Aqua. Fonte: NASA, 2009.

Tabela A.2 - Especificações de órbita da plataforma Aqua.

| | |
|--------------------------|--|
| Órbita | Quase polar, heliossíncrona |
| Inclinação | 98° |
| Passagem pelo Equador | 13h e 30min da tarde no Equador |
| Excentricidade | 0,0015 |
| Órbita de altitude média | 705 Km |
| Período orbital | 99 minutos |
| Dimensões | Aproximadamente 2,7 m de largura x 6,5 m de diâmetro |
| Peso do satélite | 2.958 Kg |

Fonte: adaptado de *National Snow and Ice Data Center (NSIDC)*, 2009.

Plataforma Aqua e seus outros sensores

O sensor AIRS é uma sonda de tecnologia avançada que possui quatro sensores nas regiões do VIS e do IVP do espectro eletromagnético, estas bandas obtém informações dos perfis de temperatura da atmosfera, bem como uma variedade de produtos do sistema terra-atmosfera (PAGANO et. al., 2000).

O sensor AMSU-A opera em 15 bandas da faixa das microondas com o objetivo de obter perfis verticais de temperatura da estratosfera e proporcionar uma capacidade de filtragem para nuvens para estas observações. Consiste em duas unidades fisicamente separadas a AMSU-A1 e AMSU-A2 que são utilizadas em conjunto com o AIRS para obter perfis de temperatura atmosférica (PARKINSON, 2003)

O sensor AMSR-E é um radiômetro de varredura de 12 bandas operando na faixa das microondas com polarizações vertical e horizontal em cada uma das seis frequências de

operação. Os produtos são utilizados principalmente para medições de precipitação de chuva, nuvens, temperatura da superfície do oceano, entre outros (PARKINSON, 2003).

O sensor HSB trata de uma sonda operante na faixa das microondas, passiva, com quatro bandas. Esta foi contratada pelo Brasil, sob responsabilidade do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) auxiliando nas previsões do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), como parte do esforço brasileiro em participar do projeto EOS. Este sensor é dedicado a coletar informações relativas a perfis verticais de umidade atmosférica para diversas altitudes, mesmo com cobertura de nuvens densa e névoa (LAMBRIGSTEN e CALHEIROS, 2003).