



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO COMPARATIVO DE PARÂMETROS DA VEGETAÇÃO SOBRE
DIFERENTES ALVOS UTILIZANDO DADOS DO AVHRR E TM**

FABIANE REGINA DA CUNHA DANTAS

**Campina Grande – Paraíba
Fevereiro de 2008**

FABIANE REGINA DA CUNHA DANTAS

**ESTUDO COMPARATIVO DE PARÂMETROS DA VEGETAÇÃO SOBRE
DIFERENTES ALVOS UTILIZANDO DADOS DO AVHRR E TM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

Subárea: Climatologia e Modelagem Numérica de Tempo

Orientadores: Célia Campos Braga

Enio Pereira de Souza

Campina Grande – Paraíba

Fevereiro de 2008

Dia
631.962.4/902
D1922



**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA
CENTRAL DA UFCCG**

D192e
2008

Dantas, Fabiane Regina da Cunha.

Estudo comparativo de parâmetros da vegetação sobre diferentes alvos utilizando dados do AVHRR e TM / Fabiane Regina da Cunha Dantas. — Campina Grande, 2008.

56f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Célia Campos Braga, Prof. Dr. Enio Pereira de Souza.

1. Parâmetros da Vegetação. 2. Variabilidade Espacial. 3. Fazenda Frutacor. 4. Mínimo Quadrado. I. Título.


CDU- 631.962.4(043)

FABIANE REGINA DA CUNHA DANTAS


ESTUDO COMPARATIVO DE PARÂMETROS DA VEGETAÇÃO SOBRE DIFERENTES
ALVOS UTILIZANDO DADOS DO AVHRR E TM

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/02/2008

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dra. CELIA CAMPOS BRAGA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. ENIO PEREIRA DE SOUZA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. ADEMIR CRÉSO TARGINO
Centre for Atmospheric Science
Universidade de Manchester (Inglaterra)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus o grande responsável por mais essa vitória alcançada. A todos meus familiares, em especial, Maria do Socorro (mãe), Fernando (Pai) e Fernando Filho (irmão) que sempre me incentivaram a persistir e aperfeiçoar-me na busca do saber e de um futuro promissor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é a essência de tudo que é realizável e pela sua presença constante na minha vida.

Aos meus queridos pais, por todos esses anos de amor, apoio e incentivo e por estarem comigo em todos os momentos da minha vida. Amo vocês!!!

A meu irmão Fernando, por seu carinho, companheirismo e contribuição nas horas precisas.

A todos os meus familiares e amigos que sempre torceram e me incentivaram a seguir em frente e em especial aos meus queridos avós que acompanharam um pouco dessa minha jornada, mas que agora se encontram no reino celeste.

À Célia Campos Braga e Enio Pereira de Souza, meus orientadores, sem os quais, não estaria concluindo este trabalho e por todo apoio durante estes dois anos.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior) pela bolsa de estudo oferecida durante o curso.

A todos os professores que direta ou indiretamente contribuíram com o meu aprendizado.

A coordenação da Pós Graduação em Meteorologia pela atenção e apoio, administrada por professor Bernardo Barbosa da Silva e Divanete Rocha da Cruz (secretária).

As amigas, Conceição e Carla, pela amizade, companheirismo, apoio e pelos momentos alegres e difíceis que passamos juntas durante o curso. Contem sempre comigo!

Aos amigos, Flávio e Rhodolfo pelos momentos de descontração, aos colegas de turma e aqueles que contribuíram em parte com meu trabalho: Carlos pela paciência em passar um pouco de seus conhecimentos, Saulo pelos dados fornecidos, Bérqson e Luiz.

Enfim, a todos muito obrigada por tudo!!!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	iv
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	04
2.1 OBJETIVO GERAL	04
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	04
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1. MATERIAL	11
4.1.1 Satélites da Série NOAA	11
4.1.2 Satélites LANDSAT 5-TM	12
4.1.3 Área de Estudo	13
4.2 METÓDOS	14
4.2.1 Radiância Espectral	15
4.2.2 Refletância	16
4.2.3 Albedo Planetário	16
4.2.4 Albedo da Superfície	17
4.2.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)	18
4.2.6 Índice de Área Foliar (IAF)	18
4.2.7 Fração Vegetação (F_{veg})	18
4.2.8 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5.1 Albedo da Superfície	21
5.2 Índice de Vegetação por diferença Normalizada (IVDN)	27
5.3 Índice de Vegetação ajustado ao Solo (SAVI)	32
5.4 Índice de área Foliar (IAF)	37
5.5 Comparação entre os valores de albedo medidos e calculados	42
5.6 Estimativa da Fração Vegetação	43

6. CONCLUSÕES E SUGESTÃO	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
8 ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Composição das bandas do Mapeador temático do satélite LANDSAT 5 e localização da área de estudo próxima a Quixeré – CE	13
FIGURA 2	Experimento instalado na área da Fazenda Frutacor próxima a Quixeré - CE	14
FIGURA 3	Diagrama de blocos da metodologia empregada para o cálculo do albedo, IVDN, SAVI e IAF utilizando o SEBAL	15
FIGURA 4	Gráfico representativo das regiões de aceitação e rejeição para um teste de hipótese unilateral	20
FIGURA 5	Distribuição espacial do Albedo da Superfície (LANDSAT/NOAA) na região de Quixeré para 2005 e 2006.	25
FIGURA 6	Relação funcional do Albedo Médio obtido pelo AVHRR e TM para áreas de Frutíferas, Caatinga e Caatinga e agricultura irrigada	26
FIGURA 7	Distribuição espacial do IVDN (LANDSAT/NOAA) na região de Quixeré para 2005 e 2006.	30
FIGURA 8	Relação funcional do IVDN Médio obtido pelo AVHRR e TM para áreas de Frutíferas, Caatinga e Caatinga e agricultura irrigada	31
FIGURA 9	Distribuição espacial do SAVI (LANDSAT/NOAA) na região de Quixeré para 2005 e 2006.	35
FIGURA 10	Relação funcional do SAVI Médio obtido pelo AVHRR e TM para áreas de Frutíferas, Caatinga e Caatinga e agricultura irrigada	36
FIGURA 11	Distribuição espacial do IAF (LANDSAT/NOAA) na região de Quixeré para 2005 e 2006	40
FIGURA 12	Relação funcional do IAF Médio obtido pelo AVHRR e TM para áreas de Frutíferas, Caatinga e Caatinga e agricultura irrigada	41
FIGURA 13	Distribuição espacial da Fração Vegetação para o mês de Agosto de 2005 e 2006	43

FIGURA 14	Solo seco e pouco vegetado	44
FIGURA 15	Vegetação de caatinga	45
FIGURA 16	Vegetação nativa	45
FIGURA 17	Carnaúbas em Quixeré/CE (Mata dos Cocais)	46
FIGURA 18	Índice Pluviométrico correspondendo aos meses de maio a outubro de 2005	56
FIGURA 19	Índice Pluviométrico correspondendo aos meses de janeiro a agosto de 2006	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Comparação entre os valores de albedo medidos e estimados pelo SEBAL	42
TABELA 2	Fração Vegetação e variabilidade do IVDN em quatro grupos selecionados nos anos de 2005 e 2006 na região de estudo	44
TABELA3	Valores médios de albedo, IVDN, SAVI e IAF para LANDSAT e NOAA	55

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SIGLAS

AVHRR- Advanced very High Resolution Radiometer (Radiômetro Avançado de Alta Resolução)

BEPS – Boreal Ecosystems Productivity Simulator (Simulador da Produtividade do Ecossistema Boreal)

CE – Ceará

ENSO – El Nino Oscilação Sul

ERTS 1 – Earth Resources Technology Satellites (Tecnologia de Satélites e Recursos da Terra)

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GAC – Global Área Coverage (Área de Cobertura Global)

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IVp – Infravermelho próximo

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Espectrorradiômetro imageador

NASA – National Aeronautics and Space Administration (Agência Nacional Aeronáutica e Espacial)

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (Agência Nacional de Atmosfera e Oceano)

PPL – Produtividade Primária Líquida

RAMS – Regional Atmospheric Modeling System (Modelo de Sistema Atmosférico Regional)

SEBAL – Surface Energy Balance Algorithms for Land (Algoritmos para estimar o Balanço de Energia à Superfície)

TM – Thematic Mapper (Mapeador Temático)
de resolução moderada)

TSM – Temperatura da superfície do mar

TST – Temperatura da superfície da terra

VIS – Visível

SÍMBOLOS

FAPAR – Fração de Radiação Fotossinteticamente Ativa

IAF – Índice de Área Foliar

IVDN – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

SAVI – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

SARVI – Índice de Vegetação ajustado ao solo resistente à atmosfera

T_s – Temperatura da Superfície

ET – Evapotranspiração

EF – Fração Evaporativa

L_{λ} - Radiância espectral de cada banda (LANDSAT)

ND – Número Digital

ρ_{λ} - Refletância de cada banda (LANDSAT)

$Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ – Watt por metro quadrado por esterorradiano e por micrometro

Z - Ângulo Zenital Solar

dr – Quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol

DJ – Dia do ano

α_i - Refletância correspondente as bandas 1 e 2 (AVHRR)

ρ - Distância Terra-Sol

$C_{10,i}$ – Intensidade do pixel (em 10 bits)

S_i, I_i – Coeficientes de calibração da banda i (AVHRR)

α - Albedo Planetário (NOAA)

α_{toa} - Albedo Planetário (LANDSAT)

α_{co} - Albedo da Superfície

r^2 – Coeficiente de correlação linear

p – Coeficiente de correlação de uma população

N – Número total da amostra

ν - Grau de liberdade

\hat{Y} - valor estimado

a, b – Coeficientes da regressão

$S_{Y,X}$ – Erro padrão de estimativa

IVDN₀ – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Mínimo

IVDN_∞ – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Máximo

F_{veg} - Fração Vegetação

$F_{veg,m}$ - Fração vegetação média

N_i – Número total de pontos de grade de cada grupo

N_t – Número total de pontos de IVDN na área selecionada

km – Quilômetro

km² – Quilômetro quadrado

m – metro

mm – milímetro

S – Sul

W - Oeste

RESUMO

Este estudo teve como objetivo encontrar uma relação funcional entre parâmetros da vegetação estimados pelos sensores AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT- 5 sobre diferentes alvos na Fazenda Frutacor e nas proximidades de Quixeré, ambos localizados no estado do Ceará, nos anos de 2005 e 2006. As imagens TM/LANDSAT foram convertidas para 1 km de resolução espacial para efeito de comparações com as do AVHRR/NOAA. As imagens foram processadas através da ferramenta Model Maker do software ERDAS Image 8.7 utilizando as etapas do SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land). Utilizou-se o modelo de regressão linear de Mínimos Quadrados para encontrar a relação funcional entre os parâmetros estimados pelos satélites, a saber, IVDN, SAVI, LAI e albedo. Os resultados mostraram diferenças na variabilidade espacial dos parâmetros entre os dois anos estudados. Isto porque 2005 foi predominantemente seco enquanto que 2006 foi caracterizado como ano chuvoso. A relação funcional entre os dados AVHRR e TM apresentou coeficientes de correlações (r) satisfatórios: $r=0,87$ para IVDN, $r=0,81$ para SAVI, $r=0,84$ para IAF, com exceção do albedo com $r= 0,62$. Valores medidos através do net radiômetros CNR1 e estimados pelo AVHRR e TM apresentaram erros médios de 1,25% e 3,57%, respectivamente. A fração vegetação aumentou em quase toda região em 2006, exceto na área irrigada da fazenda Frutacor que não apresentou diferença significativa.

ABSTRACT

In this study we try to find functional relationships between vegetation parameters estimated by the sensors AVHRR/NOAA and TM/LANDSAT-5 over different targets at Frutacor Farm and in the vicinity of Quixeré, both located in the state of Ceará, in the years of 2005 and 2006. The TM/LANDSAT images were turned to a 1-km spatial resolution in order to yield a comparable spatial grid as AVHRR/NOAA images. The image reprojections were carried out by the Model Maker of the software ERDAS Image 8.7, using the SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) parameterisation. The Least-square linear regression model was used to find functional relationships between various parameters estimated by the satellite, namely, NDVI, SAVI, LAI and albedo. The results showed striking differences in the spatial variability of the parameters over the two years studied. This is partly because 2005 was predominantly dry whilst 2006 was characterized as a rainy year. The functional relationship between AVHRR and TM data presented satisfactory correlation coefficients (r): $r=0.87$ for NDVI, $r=0.81$ for SAVI, $r=0.84$ for LAI. The correlation coefficient for the albedo was, however, somewhat lower with a value of $r=0.62$. Values of albedo estimated by the AVHRR and TM, and compared against values measured by the net radiometers CNR1, presented average errors of 1.25% and 3.57%, respectively. The vegetation fraction increased over almost the entire region during 2006, except in the irrigated area of Frutacor Farm which did not present any significant difference.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto é definido por Lillesand & Kiefer (1979) como sendo a ferramenta e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno. Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto, tem assumido grande importância no monitoramento de diversos fenômenos meteorológicos e ambientais, assim como oferecendo grande suporte às previsões de tempo e clima. Os dados de sensoriamento remoto têm sido de fundamental importância em pesquisas direcionadas ao estudo do comportamento dinâmico da vegetação. Portanto, tal abordagem procura tornar mais operacional o sistema de monitoramento da evolução espacial e temporal das mudanças na cobertura da superfície terrestre, sendo uma ferramenta de grande importância para a obtenção de informações necessárias ao manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais, tais como água, solo e vegetação (BATISTA & ALMEIDA, 1998). O sensoriamento remoto aplicado à agricultura oferece diversas vantagens, pois possibilita a geração de séries temporais das cenas estudadas, possui cobertura espacial ampla revelando aspectos importantes para planejamento das áreas de agricultura irrigadas (BASTIAANSSEN, 2000).

Diversos estudos têm sido realizados com séries temporais de dados obtidos de sensores de alta resolução, aplicado à vegetação para a determinação de Albedo, IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), IAF (Índice de Área Foliar), dentre outros. Wydick et al. (1987) determinaram o albedo da superfície a partir de medições realizadas nas bandas espectrais dos canais 1 e 2 do AVHRR/ NOAA. Batista et al. (1993), explorando a variação temporal do Índice de Vegetação de vários tipos de cobertura vegetal de porte florestal que ocorrem na Amazônia Legal Brasileira ao longo de 10 anos, mostraram que para cada tipo de vegetação o IVDN comporta-se de maneira diferente

evidenciando que o efeito do El Niño exerceu forte influência sobre a vegetação da Amazônia em 1983. Nicholson & Farrar (1994), examinando a variabilidade do IVDN para regiões semi-áridas da África, verificaram relações temporais e espaciais do índice de vegetação com chuva, vegetação e umidade do solo. Braga et al. (2003) verificaram que a resposta da vegetação à precipitação apresenta defasagem temporal de um mês nas regiões semi-áridas do Nordeste do Brasil. Tachiiri (2005) utilizou um método de correção atmosférica para imagens AVHRR/NOAA na região do Distrito de Marsabit (Quênia) verificando que o IVDN em vegetações menos densas é mais sensível à correção atmosférica.

Estudos realizados recentemente indicam que a introdução de parâmetros da vegetação em modelos numéricos podem alterar os fluxos de superfície obtidos através das simulações. Myneni et al (1997) utilizaram um método para estimar o Índice de Área Foliar (IAF) e a Fração de Radiação Fotossinteticamente Ativa (FAPAR) baseando-se num modelo de transferência radiativa para deduzir relações entre IVDN/IAF e IVDN/FAPAR. Os resultados mostram que a relação IVDN/IAF é não linear, variando de acordo com o tipo de cobertura vegetal enquanto que a relação IVDN/FAPAR para a maioria dos casos analisados é linear. Prates (1997) utilizou um modelo de mesoescala com alta resolução - *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) aplicadas em culturas de arroz e milho com características de albedo, IAF, parâmetro de rugosidade e fração de cobertura do solo para estudar o impacto da heterogeneidade da vegetação no desenvolvimento de circulação local.

Gutman & Ignatov (1998) fizeram uma parametrização da fração vegetação utilizando dados de IVDN para uso em modelos de previsão numérica de tempo. Melo (2003) utilizou dados de IVDN obtidos das imagens de satélites do AVHRR/NOAA, para estimar o IAF e a fração de vegetação, na região Nordeste do Brasil, incorporando-os no modelo regional de previsão de tempo RAMS. Moriondo et al (2007) utilizando dados de IVDN estimaram a FAPAR do trigo apresentando diferentes efeitos fotossintéticos durante a estação do inverno sendo estes dados aplicados num modelo de simulação regional. Assim, dados de parâmetros da vegetação obtidos remotamente tais como; albedo, IVDN, IAF, Índice de Vegetação com Ajuste do Solo (SAVI), Fração Vegetação dentre outros, permitem analisar as características de cada tipo de cobertura vegetal em regiões distintas.

Portanto, com dados espectrais dos canais do visível e infravermelho próximo dos satélites meteorológicos e ambientais é possível estimar e validar parâmetros da vegetação, os quais são de fundamental importância quando aplicados a modelos numéricos de previsão de tempo e clima.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Fazer uma avaliação detalhada dos parâmetros vegetativos: albedo, IAF, IVDN, SAVI e Fração Vegetação e encontrar uma relação funcional entre cada um deles, assim como validação do albedo, obtidos pelos sensores AVHRR e TM sobre os diferentes alvos nas proximidades de Quixeré – CE, podendo com isso investigar a viabilidade da incorporação dos resultados obtidos em estudos posteriores, principalmente em modelos numéricos de tempo e clima.

2.2. Objetivos Específicos

- Obter o Albedo à superfície, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e o Índice de Área Foliar (IAF).
- Fazer a Distribuição Espacial dos parâmetros da vegetação na região de Quixeré-CE.
- Fazer comparação dos parâmetros utilizando o Método dos Mínimos Quadrados.
- Validar os dados do albedo calculados pelo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) com valores medidos.
- Estimar a Fração Vegetação utilizando imagens de agosto de 2005 e de 2006.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vários estudos com diferentes finalidades têm sido realizados utilizando dados de parâmetros da vegetação (IVDN, IAF, Albedo, Fração Vegetação) obtidos de sensores de alta resolução temporal instalados a bordo de satélites meteorológicos e ambientais, tais como o radiômetro AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*). Algumas dessas aplicações incluem monitoramento de cultivo agrícola regional, desertificação, monitoramento de secas, fluxos de calor sensível e latente, resposta da vegetação as precipitações, dentre outros. Os parâmetros da vegetação são úteis também no estudo da variabilidade temporal e espacial da vegetação, assim como no desenvolvimento de características da resposta da superfície para o uso em modelos de previsão de tempo e clima (GUTMAN & IGNATOV, 1998; MELO, 2003).

Santos et al. (1991) compararam o Índice de Vegetação do AVHRR / NOAA e LANDSAT /TM em áreas com ação antrópica na Amazônia. Os autores encontraram uma relação significativa entre os dados estimados pelos dois satélites.

Liu et al. (1991) utilizaram dados de IVDN obtidos de imagens AVHRR/NOAA no modo GAC (*Global Area Coverage*), no período de junho de 1981 a agosto 1987 sobre a América do Sul. A evolução mensal do IVDN para anos secos e úmidos do período de estudo foi utilizada para estimar as áreas com cobertura de IVDN menores que 0,23. Esse valor foi usado como um indicador de áreas secas e como delimitador de áreas de baixa precipitação no continente. Foram observadas dependências regionais bem definidas, com a variabilidade de áreas secas no nordeste, sudoeste e noroeste do continente e na região amazônica. Isso é constatado nas áreas com IVDN menores que 0,23 para os anos 1982/83 e 1984/85. Eles verificaram que na maioria das regiões, o IVDN demora cerca de um mês para responder à precipitação, ou seja, a maior correlação entre o IVDN e a quantidade de

precipitação ocorre quando ele é comparado com a precipitação do mês anterior. Esse estudo também mostrou que a distribuição continental de vegetação com estresse, indicada pelo IVDN, corresponde a áreas que sofreram impactos de seca provocados pelo El Niño.

Huete et al. (1994) utilizaram produtos de índices de vegetação tais como IVDN e seus variantes SAVI e SARVI obtidos a partir do sensor MODIS comparando-os com o IAF sobre diferentes tipos de solo. Os autores verificaram que para o algodão o SARVI, por amenizar os efeitos atmosféricos e do solo, se ajustou melhor ao IAF com erro de 40%, enquanto que o SAVI e o IVDN apresentaram erros respectivos de 60 e 80%.

Liu et al. (1994) utilizaram dados de IVDN derivados de satélite para estudar a evolução das secas no Sul do continente americano. Os mapas de IVDN foram produzidos a partir de dados do tipo Global Área Coverage (GAC) adquiridos do NOAA durante o período de 1 de agosto de 1981 a 30 de junho de 1987. A resposta da vegetação às secas é analisada de acordo com a evolução espacial e temporal dos dados observados por mapas mensais das áreas secas, que são delimitadas por valores de IVDN menores do que 0.22 e da correlação do padrão da seca com o El Niño Oscilação Sul (ENSO). Os autores observaram que a indicação das áreas secas pelos dados de satélite na Bacia Amazônica coincide com eventos de ENSO, embora a contaminação por nuvens, que resultou em valores baixos de IVDN durante a estação chuvosa, tenha dificultado a análise, pois não se tinha uma definição precisa se os efeitos provocados foram devidos à seca ou às nuvens. Os resultados mostraram que o IVDN é uma medida direta da radiação, responsável pelo vigor da vegetação a superfície, podendo responder indiretamente à precipitação sobre os continentes.

Myneni et al. (1997) estudaram um método para estimar o IAF e Fração de Radiação Fotossinteticamente Ativa (FAPAR) com dados de IVDN. O modelo de transferência radioativa foi utilizado para deduzir as relações entre IVDN/IAF e IVDN/FAPAR. O método requer a estratificação da vegetação global dos tipos de cobertura que são compatíveis com o modelo de transferência radiativa. Os autores fizeram uma classificação do tipo de cobertura vegetal que é compatível com o algoritmo IAF/FAPAR. Os dados do modelo foram comparados aos do método semi-analítico do qual se observaram resultados bastante precisos. Eles verificaram também uma relação

linear entre IVDN/FAPAR para a maioria dos casos e não linear entre IVDN/FAPAR, mostrando que ocorrem variações dos índices dentre os vários tipos de vegetação.

Srisvastava et al. (1997) utilizaram os dados remotos para estudar relação entre IVDN e totais da precipitação e transpiração no estado de Karnataka-Índia ($15^{\circ} 58' 13''$ S, $77^{\circ} 33' 37''$ E). Os autores concluíram que a relação IVDN e água contida nas plantas para o seu desenvolvimento é mais significativa do que a relação entre IVDN e os totais sazonais das precipitações em ecossistemas de terra seca improdutiva.

Gutman & Ignatov (1998) notaram que os modelos de previsão numérica e de circulação geral necessitam de duas características principais relacionadas à vegetação – o tipo e a quantidade de cobertura vegetal. O tipo de cobertura é usualmente obtido da avaliação dos mapas de vegetação global baseados em observações de solo. Já a quantidade de vegetação é parametrizada através da área fracional vegetada ocupando cada célula de grade do modelo (densidade horizontal) e do índice de área foliar, isto é, o número de camadas de folha da parte vegetada (densidade vertical). Com isso, os autores exploraram ainda o potencial de dedução dessas duas variáveis a partir de dados de IVDN obtidos do AVHRR/NOAA. Como o IVDN não possibilita deduções simultâneas de ambas as variáveis, os autores assumiram que a parte vegetada de um pixel é coberta por vegetação densa (isto é, índice de área foliar elevado) para calcular a fração vegetada. Resultados preliminares de incorporação dos mapas de fração vegetada no modelo de previsão numérica de tempo mostraram uma melhora nos fluxos de superfície, mostrando também um modelo mais realístico e consistente do que o anterior que utiliza fração vegetação invariante.

Ha et al. (2001) analisaram a variabilidade temporal do IVDN, do IAF e da temperatura da superfície (T_s) estimados a partir de dados do AVHRR na região da península coreana entre 1981 a 1994. Eles formularam também o IAF como uma função do IVDN, analisando esses índices para três tipos de vegetação, folha larga para decíduas, sempre verde com folhas largas e floresta mista; folha pontiaguda para decíduas e sempre verde com folhas pontiagudas e pastagem. Resultados mostraram que o IAF depende fortemente do tipo de vegetação, que sua variabilidade interanual é maior em regiões mais elevadas e em áreas urbanas e que mudanças nesses índices não estão associadas com mudanças no IVDN. Os autores concluíram ainda que a distribuição espacial do IAF na

península da Coreia pode ser usada para simular os fluxos a superfície sobre áreas heterogêneas.

Matsushita & Tamura (2002) desenvolveram um método de integração com dados de sensoriamento remoto aplicando um modelo de ecossistema para estimar a produtividade primária líquida (PPL) no Leste da Ásia no ano de 1998. Eles melhoraram o modelo Simulador da Produtividade do Ecossistema Boreal (BEPS) para estimar o modelo PPL global incorporando um novo mapa de cobertura do solo e melhoraram o algoritmo IVDN/IAF. As informações da cobertura do solo e da distribuição espacial e sazonal do IAF, ambos obtidos a partir de dados de satélite, foram usadas como entrada a fim de melhorar a exatidão do modelo. Resultados mostraram que o IAF é muito sensível ao IVDN, já que se verifica uma correlação exponencial entre ambos e que um erro pequeno no IVDN resultará em erro grande no IAF. Isso quando este for grande, afetando assim na estimativa final do PPL. Ao compararem a PPL estimada e a observada, verificaram que houve um erro médio de aproximadamente 20%.

Pereira et al. (2002) desenvolveram um método para classificação da cobertura vegetal do Cerrado brasileiro quanto à susceptibilidade ao fogo, a partir de mosaicos quinzenais do IVDN e do canal 3 (termal), gerados a partir de imagens do sensor (AVHRR/NOAA). Resultados indicaram a existência de sete classes de cobertura. A cada classe foi atribuído um grau de susceptibilidade ao fogo, variando entre muito baixo (Água-Nuvem), baixo (área irrigada), médio (Cerrado 1 – IVDN baixo e temperaturas maiores no canal 3) e alto (Cerrado 2 - IVDN baixo e temperaturas intermediárias no canal 3).

Melo (2003) analisou a influência da cobertura vegetal na configuração dos parâmetros de superfície, através do “*Regional Atmospheric Modeling System*” (RAMS). Foram estimados o índice de área foliar (IAF) e a fração de cobertura vegetada (F_{veg}) a partir de dados quinzenais de IVDN obtido de imagens AVHRR/NOAA, com pontos de grade de $5,5 \times 5,5 \text{ km}^2$. A região de estudo foi o Nordeste do Brasil para os anos de 1983 e 1986. Os parâmetros estimados foram introduzidos no modelo RAMS a fim de avaliar seu impacto a partir de simulações feitas para um período de 5 dias. Observou-se um aumento do fluxo de calor sensível e uma diminuição do fluxo de calor latente. A atmosfera na camada limite turbulenta tornou-se mais quente e seca. A quantidade de radiação solar que

atinge a superfície não foi afetada. Por outro lado, a radiação de onda longa emitida aumentou, como consequência do aumento da temperatura em superfície. Apesar da diminuição da evapotranspiração, observou-se um aumento da precipitação convectiva. A análise por região homogênea mostrou que o maior impacto ocorreu na região da Caatinga.

Silva et al. (2005) determinaram o albedo da superfície através de técnicas de sensoriamento remoto envolvendo áreas irrigadas do Projeto Nilo Coelho, parte do reservatório de Sobradinho, áreas de vegetação nativa e parte da área urbana dos municípios de Petrolina-PE (09° 23' 55" S, 40° 30' 03" W) e Juazeiro-BA (09° 24' 50" S, 40° 30' 10" W) utilizando duas imagens do satélite LANDSAT 5 para os anos de 2000 e 2001. Eles constataram que o albedo correspondente aos pomares situou-se entre 17 e 20%, que houve uma pequena diferença entre o albedo de um ano e do outro, quando consideraram a imagem como um todo e que a vegetação nativa e reservatórios de água apresentaram albedo com menor variação temporal interanual.

Wang et al. (2006) combinaram dados de IVDN e Temperatura da Superfície obtidos do sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) Aqua-Terra para estimar a Evapotranspiração (ET), a Fração Evaporativa (EF) e parâmetros meteorológicos tais como, temperatura do ar e velocidade do vento. Os dados medidos por um transmissor analisados durante 16 dias foram usados para validar os EFs corrigidos obtidos do MODIS. Os resultados mostraram que os fatores dominantes que levaram a variação sazonal do EF foram a temperatura do ar e o IVDN. Os dados analisados mostraram que o EF pode ser parametrizado como uma função da temperatura do ar controlando o parâmetro de Taylor, que depende dos índices de umidade do solo. A correlação entre umidade do solo e EF não foi boa, mas melhora após a remoção da tendência sazonal de EF. Foi estimado também um erro relativo de EF de aproximadamente 17%.

Braga et al. (2006 b) utilizaram dados do AVHRR/NOAA para calcular a fração vegetação anual nas décadas de 1980 e 1990 no leste da Bahia. Os autores mostraram que na década de 1980 ocorreu redução da vegetação na Caatinga e aumento da vegetação no Agreste e Mata Atlântica e na década de 1990 a vegetação apresentou redução na região do Agreste e Mata Atlântica e aumento da vegetação na Caatinga.

Houborg et al. (2007) desenvolveram um método de otimização numérica utilizando um modelo de inversão da refletância no dossel da vegetação, combinando índices de vegetação e parâmetros biofísicos usando o sensor MODIS Aqua-Terra. O estudo foi desenvolvido na região da Ilha de Zelândia, Dinamarca compreendendo áreas de cultivo agrícola e florestas do tipo coníferas e de folhas largas. Para facilitar o modelo de refletância no dossel de florestas heterogêneas, foi elaborado um esquema de correção simples, que foi desenvolvido para melhorar a previsão do IAF sobre esse tipo de vegetação e também fornecer valores mais realísticos da quantidade de clorofila das folhas. A relação entre o IAF medido e o estimado explicaram 0,62, 0,46 e 0,63 da variância para as áreas de cultivo de cevada, trigo e sobre locais de floresta, respectivamente. Além disso, os autores também constataram que a quantidade média de clorofila é estimada em torno de $40 \mu\text{g cm}^{-2}$ para todas as classes de cobertura vegetal, que é um valor razoável para um cultivo de grande escala. A quantidade média de água nas folhas variou de 0,013 a 0,029 cm indicando boas condições para o desenvolvimento vegetativo.

Os trabalhos relacionados acima serviram de base para o desenvolvimento deste estudo. Os relacionados com a região Nordeste do Brasil investigaram a variabilidade sazonal do IVDN, evolução e diminuição da vegetação com diferentes tipos de cobertura, variabilidade do albedo em vegetação irrigada e nativa, a exemplo dos trabalhos realizados por, Braga et al. 2006, Silva et al. 2005. Os estudos sobre incorporação dos parâmetros da vegetação obtidos a partir de dados sensoriais, em modelos de previsão de tempo e clima em escala regional, visaram melhorar os fluxos de superfície.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAL

4.1.1 Satélites da Série NOAA

Os satélites polares de bandas multiespectrais NOAA pertencem à agência norte-americana NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e são administrados pela NESDIS (*National Environmental Satellite, Data, and Information Service*). O NOAA é um satélite de órbita polar e heliossíncrono a uma altura de 833 km. Cada satélite leva um período de 101,35 minutos para passar novamente pela Linha do Equador e passa em uma mesma região em intervalos de aproximadamente 12 horas.

A principal utilização dos satélites NOAA é a obtenção de informações meteorológicas através de seu sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer* ou Radiômetro Avançado de Resolução Muito Alta), com resolução espacial de 1 km x 1 km no ponto nadir. Cada plataforma AVHRR/NOAA está programada para realizar duas passagens diárias, uma diurna e outra noturna, sobre um mesmo ponto da superfície terrestre, conferindo-lhe alta frequência temporal de aquisição de imagens, que é importante em aplicações como o monitoramento de áreas agrícolas e a estimativa de produtividade primária.

O AVHRR apresenta 5 bandas (comprimentos de onda), sendo uma banda no espectro solar (luz visível: 0,58 - 0,68 μm), outra banda no infravermelho próximo (0,725 - 1,10 μm), que fornecem informações sobre o estado da vegetação e cobertura por nuvens. Outras três bandas no infravermelho termal (3,55 - 3,93 μm ; 10,3 - 11,3 μm ; 11,5 - 12,5 μm), que são usadas para avaliar a distribuição de temperatura sobre o mar e sobre a terra, inclusive detectar queimadas (temperaturas muito acima do normal). Esse sensor

possibilita realizar monitoramento climático em geral, IVDN, TSM (Temperatura da Superfície do Mar), TST (Temperatura da Superfície da Terra), monitoramento de queimadas, etc.

A vegetação tem refletância normalmente baixa na banda visível (VIS) e alta no infravermelho próximo (IVP). No primeiro caso, é a clorofila que absorve a radiação solar para permitir a fotossíntese, enquanto que o tecido das folhas tem baixa absorção no IVP. Já a cobertura vegetal com estresse hídrico tende a absorver menos radiação solar, aumentando sua refletância no espectro visível e a absorver mais no infravermelho próximo.

4.1.2 Satélites LANDSAT 5 – TM

No dia 23 de Julho de 1972, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) lançou nos Estados Unidos um primeiro satélite chamado ERTS 1 (*Earth Resources Technology Satellites*), no quadro do Programa Espacial "Earth Resources Technology Satellite".

Esse Programa Espacial e os satélites que o compõem foi em seguida rebatizado "Landsat" para melhor sugerir o enfoque do seu esforço sobre Sensoriamento Remoto de Recursos Naturais Terrestres.

Os satélites da série LANDSAT possuem grande potencial para o mapeamento de áreas queimadas, pois seus dados de fina resolução espacial podem ser utilizados em diversos estudos para a classificação e a interpretação da cobertura terrestre, além da distinção entre áreas queimadas e não-queimadas. Possui resolução espacial de 30m e a área imageada é uma faixa de 185 km, recortada em cenas de 185 x 170 km. É do tipo heliosíncrono, quase polar, permitindo assim uma cobertura completa da Terra entre 81°N e 81°S (Fonte: ENGESAT). Está a uma altura de 705 km com velocidade equivalente a 7,7 km/seg. Seu ciclo orbital é de 16 dias.

O sensor TM a bordo do satélite LANDSAT - 5 opera em sete bandas espectrais, sendo três na região do visível (0,45 – 0,52 μm ; 0,52 – 0,60 μm ; 0,63 – 0,69 μm), três na região do infravermelho refletido (0,76 – 0,79 μm ; 1,55 – 1,75 μm ; 2,08 – 2,35 μm) e uma na região termal (10,4 – 12,5 μm) (Moreira, 2005).

4.1.3 - Área de Estudo

A região de estudo compreende uma área de 15.225 km² situada no leste do Estado do Ceará nas proximidades de Quixeré (5° 04' 27" S, 37° 59' 19" W). De acordo com Andrade et al. (2004) a região apresenta clima quente e semi-árido com temperatura média anual de 28,5 °C, sendo as médias de temperatura mínima e máxima de 22,5°C e 35,3 °C, respectivamente. A média pluviométrica anual é de 672 mm com estação chuvosa entre fevereiro e maio.

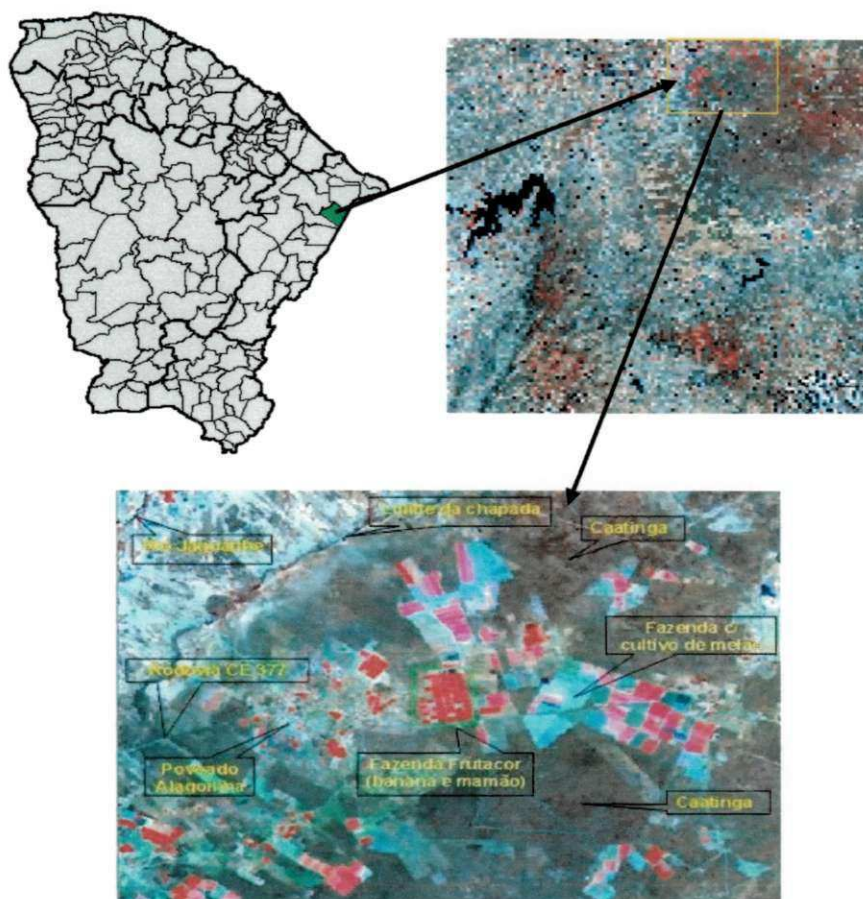


Figura 1 - Composição das bandas do Mapeador temático do satélite Landsat 5 e localização da área de estudo próxima a Quixeré - CE

Foram utilizadas nesta pesquisa seis imagens do Mapeador Temático do satélite LANDSAT-5 compostas de sete canais adquirida ao INPE, reamostradas para 1 km de resolução espacial a partir da média dos pixels, e seis do AVHRR/NOAA, composta de 5 canais, entre as latitudes (5° 02' 51, 70" S e 5° 02' 56, 30" S; 6° 17' 10, 52" S e 6° 17' 05, 79" S) e longitudes (38° 41' 59, 71" W e 37° 28' 26, 30" W; 38° 37' 51, 40" W e 37° 28'

46, 69" W). Essa área corresponde a órbita 216 e ponto 64 para os dias 21 de agosto de 2005, 24 de outubro de 2005, 28 de janeiro de 2006, 23 de julho de 2006, 08 de agosto de 2006 e 24 de agosto de 2006. A área selecionada compreende à região da Fazenda Frutacor e vizinhanças localizada na área delimitada. A cobertura vegetal da região é bastante heterogênea formada pela fazenda de agriculturas irrigadas (melão e banana) e áreas de vegetação nativa conforme indicado na Figura 1.

Os dados medidos de albedo à superfície foram obtidos de um experimento de campo realizado em Quixeré (Figura 2), utilizando o radiômetro CNR1 (*Campbell Scientific, Inc.*, Reino Unido) para computar as medidas individuais dos sensores de ondas curtas e ondas longas.

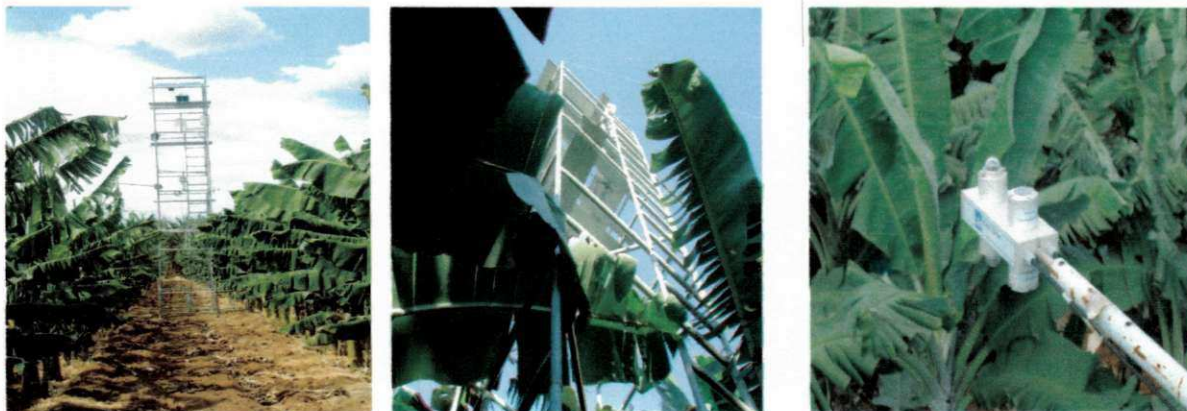


Figura 2 - Experimento instalado na área da Fazenda Frutacor próxima a Quixeré - CE

4.2 MÉTODOS

O processamento das imagens AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT foi desenvolvido através da ferramenta *Model Maker* do software ERDAS Image 8.7. Para uma melhor compreensão das diversas etapas do processamento das imagens na obtenção de parâmetros da vegetação (Albedo Planetário, Albedo da Superfície, IVDN, IAF) utilizaram-se as seguintes etapas do SEBAL (Figura 2).

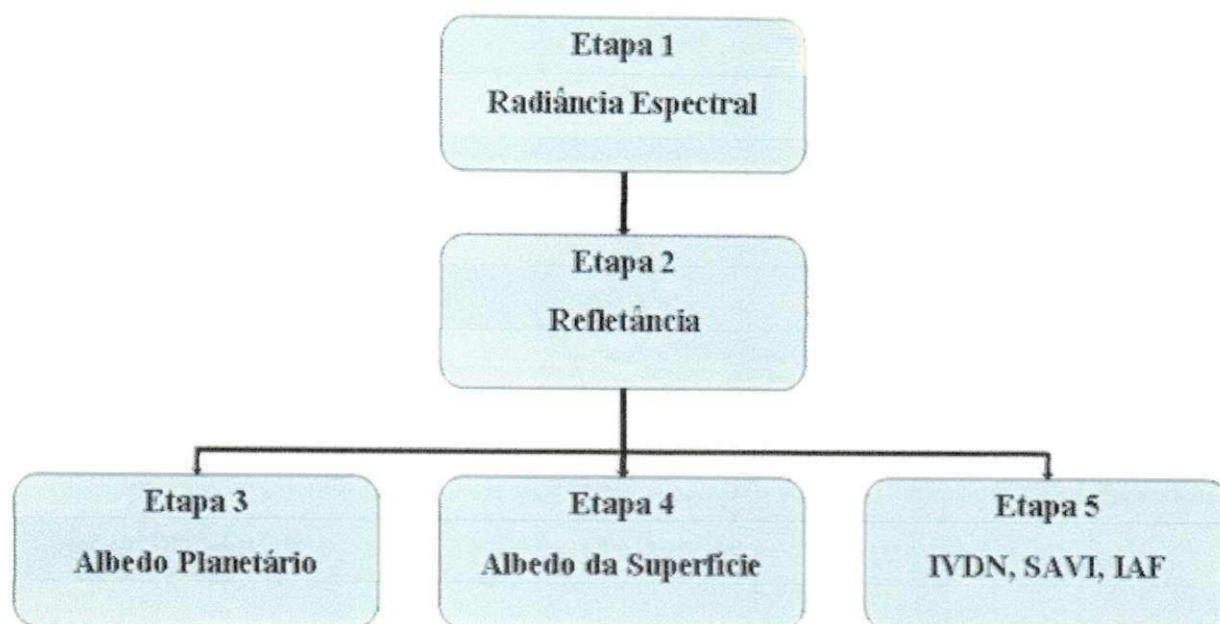


Figura 3 - Diagrama de blocos da metodologia empregada para o cálculo do albedo, IVDN, SAVI e IAF utilizando o SEBAL.

4.2.1 Radiância Espectral – Etapa 1

O cálculo da radiância espectral de cada banda ($L_{\lambda i}$), ou seja, efetivação da Calibração Radiométrica, na qual o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática representa a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda.

Para as bandas refletivas do LANDSAT 5 que são os canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7 a calibração foi feita pela equação proposta por Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

em que a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (número inteiro digital de 0 a 255) e i corresponde aos canais (1, 2, ..., 7) do satélite LANDSAT 5 – TM. As imagens foram processadas com auxílio do software ERDAS Imagine 8.7 em todas as etapas indicadas no diagrama (Figura 2).

4.2.2 Refletância – Etapa 2

A etapa 2 representa o cálculo da refletância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente.

Foi utilizada para obtenção da refletância das imagens LANDSAT a equação de Allen et al. (2002) dada por:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

em que L_{λ_i} é a radiância espectral da cada banda, k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DJ).

As refletâncias das imagens AVHRR foram obtidas através dos coeficientes de calibração (inclinação S e intercepto I) contidos em arquivos brutos, obtidos diretamente da NOAA a partir da expressão:

$$\alpha_i = \rho^2 (S_i \cdot C_{10,i} + I_i) \quad (3)$$

em que α_i é a refletância (%) do pixel correspondente à banda i (1 ou 2 do AVHRR), ρ é a distância Terra – Sol no dia em questão (em unidade astronômica), $C_{10,i}$ é a intensidade no pixel (em 10 bits) e S_i e I_i são os coeficientes de calibração da banda i.

4.2.3 Albedo Planetário – Etapa 3

O albedo é a razão entre a radiação eletromagnética refletida e a quantidade incidente, ou seja, fração da radiação de onda curta que é refletida pela superfície. Na etapa 3 foi realizado o cálculo do albedo planetário, isto é, o albedo não ajustado à transmissividade atmosférica.

Para efetuar o cálculo do albedo planetário foi utilizado o algoritmo proposto por Hucek & Jacobowitz (1995), que é dado por:

$$\alpha = 0,40.\alpha_1 + 0,43.\alpha_2 + 2,2 \quad (4)$$

em que α_1 (%) e α_2 (%) são as refletâncias das bandas 1 e 2 do AVHRR/NOAA e α é o albedo planetário.

Já o cálculo do albedo a partir das imagens LANDSAT 5 foi feito pela combinação linear das refletâncias monocromáticas proposto por Bastiaanssen (1995) da seguinte forma:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (5)$$

em que ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

4.2.4 Albedo da Superfície – Etapa 4

Vários algoritmos são utilizados para o cálculo do albedo da superfície, dentre eles pode-se citar o de Wydick et al (1987), que relaciona as refletâncias espectrais do AVHRR, medidas no topo da atmosfera com o albedo superficial. No entanto, por questão de praticidade, utilizou-se nesta pesquisa, tanto para os satélites da série NOAA quanto para o LANDSAT, o procedimento proposto por Bastiaanssen (1995). Considerar-se-á que o albedo corrigido (α_{co}) de um determinado pixel à superfície será dado por:

$$\alpha_{co} = \frac{(\alpha - a)}{b} \quad (6)$$

em que α é o albedo planetário e os coeficientes a e b representam respectivamente, a refletância atmosférica para a radiação de onda curta e o quadrado da transmitância atmosférica de onda curta (BASTIAANSEN, 1995) que para condições de céu claro, pode ser obtida por:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} z \quad (7)$$

4.2.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) - Etapa 5

Foram utilizados dados de índices de vegetação obtidos a partir dos Sensores AVHRR/ NOAA com resolução de 1,0 x 1,0 km no nadir e TM/LANDSAT com resolução de 30 x 30 m. O cálculo do IVDN foi realizado pela seguinte proporção:

$$IVDN = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (8)$$

em que ρ_V e ρ_{IV} correspondem às refletâncias das bandas do visível e infravermelho próximo, tanto para os satélites da série NOAA quanto para o LANDSAT.

4.2.6 Índice de Área Foliar (IAF) - Etapa 5

O IAF é definido como sendo a razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem e foi calculado, nesta etapa, pela equação empírica de Allen et al. (2002):

$$IAF = -\frac{\ln \frac{0,69 - SAVI}{0,59}}{0,91} \quad (9)$$

em que o SAVI é o Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo que será determinado pela expressão de Huete (1988):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (10)$$

em que $L = 0,5$ tanto para os satélites da série NOAA quanto para o LANDSAT.

4.2.7 Fração Vegetação

Conforme, Gutman & Ignatov (1998) a fração vegetada pode ser obtida da seguinte maneira:

$$Vfrac = \frac{IVDN - IVDN_0}{IVDN_\infty - IVDN_0} \quad (11)$$

em que $IVDN_0$ é o valor mínimo do índice de vegetação da área de estudo, $IVDN_\infty$ é o valor máximo do índice da série utilizada e o $IVDN$ é o valor médio do índice de vegetação em cada ponto de grade. Neste estudo utilizou-se o método proposto por Braga et al. (2006) que obtiveram a fração vegetação média mensal ($F_{veg\ m}$) em cada região homogênea pré-definida pela razão entre a quantidade de pontos de IVDN em cada região pelo total de pontos de IVDN da área. Neste sentido a fração vegetação mensal foi obtida pela razão de pontos de IVDN em cada grupo (regiões definidas de acordo com o tipo de cobertura vegetal) e quantidade total de pontos de IVDN da área estudada, através da seguinte expressão:

$$F_{veg} = \frac{\sum_i^n N_i}{N_t} \quad (12)$$

em que N_i é o número total de ponto de grade de cada grupo e N_t é o número total de pontos de IVDN na área selecionada.

4.2.8 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)

Para encontrar a relação existente entre os parâmetros estudados, a partir de seus valores médios (Albedo, IVDN, SAVI e IAF) e estimados entre TM/LANDSAT e AVHRR/NOAA, utilizou-se o método da regressão linear segundo critério dos Mínimos Quadrados.

Seja $Y = \alpha + \beta X$ o modelo linear escolhido para ajustar os pares de dados (X_i, Y_i) da amostra estudada. Designar-se-á por a e b aos valores estimados de α e β , respectivamente. A estimativa de Y do modelo ajustado compondo a e b da equação linear da reta é dada:

$$\hat{Y} = a + bX \quad (13)$$

em que os coeficientes da regressão são a e b , Y é variável dependente e X a variável independente. Encontrou-se o coeficiente de correlação linear r entre o conjunto de dados AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT, através da expressão:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (14)$$

em que, $x = X - \bar{X}$ e $y = Y - \bar{Y}$ sendo r uma quantidade adimensional variando entre $-1 \leq r \leq 1$.

O teste de significância do r amostral, foi utilizado o teste de Student unilateral. Considerando p como sendo o coeficiente de correlação de uma população teórica avaliada a partir do coeficiente de correlação amostral, para $p=0$ (hipótese nula), dada por:

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (15)$$

No caso da hipótese nula ser rejeitada, num determinado nível de significância, significa dizer que, o r amostral encontra-se na área de aceitação, ou seja, existe uma correlação entre as populações, caso contrário, se a hipótese nula for aceita a correlação entre as populações estudadas é igual a zero situando-se na área de rejeição da Figura 4.



Figura 4 - Representação das áreas de aceitação e rejeição para um teste de hipótese unilateral de Student. Fonte: Spiegel, 1968

O erro padrão de estimativa de Y para X foi definido por:

$$S_{Y.X} = \sqrt{\frac{\sum (y - Y_{est})^2}{N}} \quad (16)$$

Maiores detalhes da metodologia encontram-se descrita em Spiegel (1968), Wilks (1995).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São mostrados a seguir os resultados e discussão dos parâmetros da vegetação calculados a partir de imagens obtidas dos sensores AVHRR/NOAA e do TM/LANDSAT-5 localizadas nas proximidades de Quixeré – CE (Figura 1). A região estudada compreende área de agricultura irrigada da fazenda Frutacor, Caatinga, solo sem vegetação e vegetação nativa. Selecionou-se para fins de avaliação dos parâmetros da vegetação (Albedo IAF, IVDV, SAVI) três alvos, a saber: agricultura irrigada, caatinga e vegetação mista. Após o processamento das imagens, calibração radiométrica e obtenção das bandas refletivas do LANDSAT 5 – TM (canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7) e do AVHRR/NOAA (canais 1 e 2) estimaram-se os parâmetros da vegetação. Nas áreas estudadas, fez-se uma composição de cores das bandas dos dois satélites para os diversos tipos de alvos imageados pelo sensor para facilitar o entendimento e análise dos resultados. Enfim a discussão dos dados teve como base a distribuição espacial e temporal dos parâmetros da vegetação assim com a análise estatística dos mesmos usando o Método dos Mínimos Quadrados.

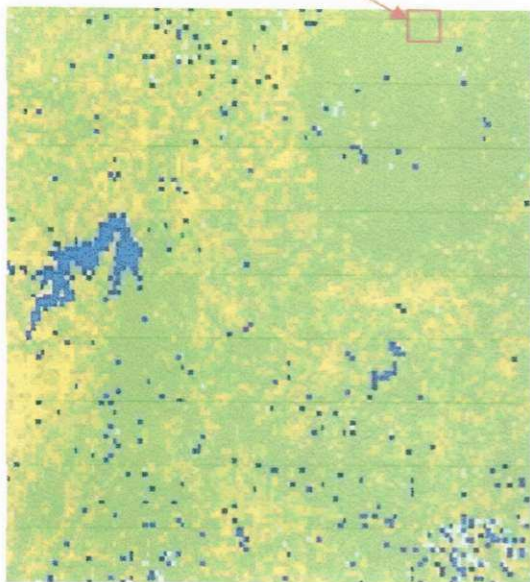
5.1 Albedo da Superfície

As Figuras 5 (a) a 5 (m) representam a distribuição espacial e temporal do albedo da superfície para 2005 e 2006. Percebe-se, de modo geral, que em 2005 o albedo foi maior que 2006, significando que houve uma diferenciação perceptível no albedo dos anos estudados. As áreas mais escuras (azul) indicam menores valores do albedo variando de 4 a 13% e correspondem aos reservatórios de água e solo úmido. Valores mais elevados do albedo superiores a 34% são identificados nas áreas de pouca ou sem vegetação e topo das nuvens, observados com maior frequência nas imagens de janeiro de 2006. No nordeste da região, fazenda Frutacor, área de frutífera irrigada o albedo varia entre 13 e 20 % para

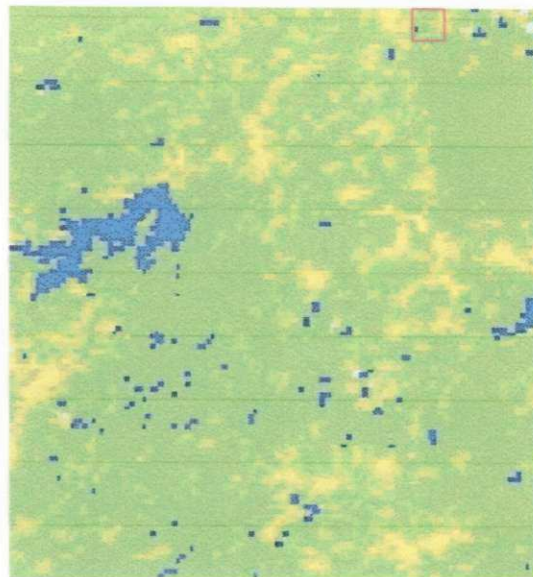
quase todos os meses estudados. Áreas de vegetação nativa com mais ocorrência na diagonal noroeste-sudeste e em parte do nordeste e sudoeste da região apresentaram variabilidade de 20 a 22%. Para a caatinga, que ocupa grande parte da área, o albedo variou entre 20 a 34 %. Para o dia 28 de janeiro de 2006, pode-se observar uma variabilidade mais acentuada entre o albedo estimado pelo NOAA e LANDSAT 5, isso provavelmente está relacionado com cobertura de nuvens, pois a passagem do NOAA não coincide com a do LANDSAT. Ou ainda poderia estar associado à resolução espacial dos mesmos, apesar das imagens terem sido convertidas para 1 km. Os resultados mostram grande semelhança com os obtidos por Silva et al. (2005) que encontraram albedo de 15 a 23% para áreas irrigadas com frutíferas e 20 a 30 % para Caatinga na região do vale do Rio São Francisco (Bahia/Pernambuco). Kustas et al. (1990), usando dados de sensoriamento remoto, encontraram para as culturas de trigo, alfafa e algodão albedos de 21%, 23% e 22% respectivamente. Iziomons & Mayer (2002) avaliando o comportamento do albedo em áreas de pastagens no sudoeste da Alemanha encontraram acentuada variabilidade no período estudado entre 1991 e 1996, com valores entre 22,2 a 36%. Boegh et al. (2002) obtiveram albedo de uma região bastante densa da ordem de 18% próximo a Viborg, Dinamarca. Lopes & Valeriano (2007) utilizando dados do sensor MODIS em uma porção da Serra da Mantiqueira e do Vale do Rio Paraíba do Sul para o ano de 2003 avaliaram que albedo acompanha a topografia, sendo mais elevado nas áreas de pastagens e arroz presentes no vale (média de 24%) do que na floresta sobre a Serra da Mantiqueira (média de 17%).

Para os meses de julho e agosto de 2006 (Figuras 5g, 5i e 5l) observaram-se albedos, variando entre 4% e 22% em quase toda área. De modo geral houve uma diferença considerável do albedo entre o ano 2005 e 2006 nas vizinhanças da fazenda. Isso pode estar relacionado com maior quantidade de chuva em 2006 provocando o aumento da umidade do solo e, conseqüentemente, diminuindo o valor do albedo. Segundo dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) (ANEXO B) o ano de 2005 foi menos chuvoso do que 2006, com aumento do albedo na região de Quixeré e proximidades. O mês de junho de 2005, por exemplo, apresentou um índice pluviométrico de 71,6 mm, enquanto que junho de 2006 foi 130,2 mm, explicando, portanto, as diferenças do albedo nesses dois anos.

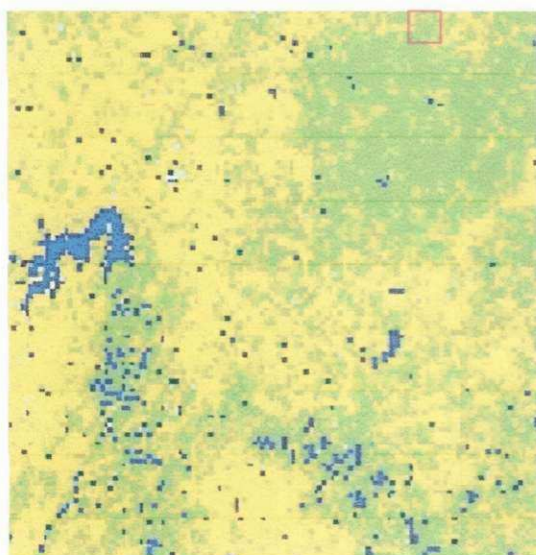
Frutacor



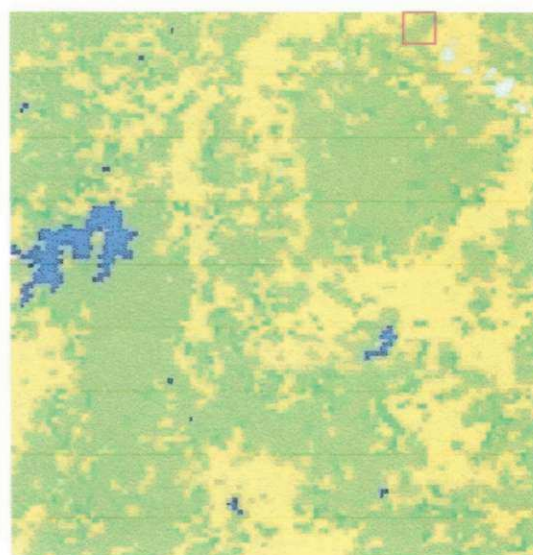
a) 21-08-05 – LANDSAT



(b) 21-08-05 – NOAA



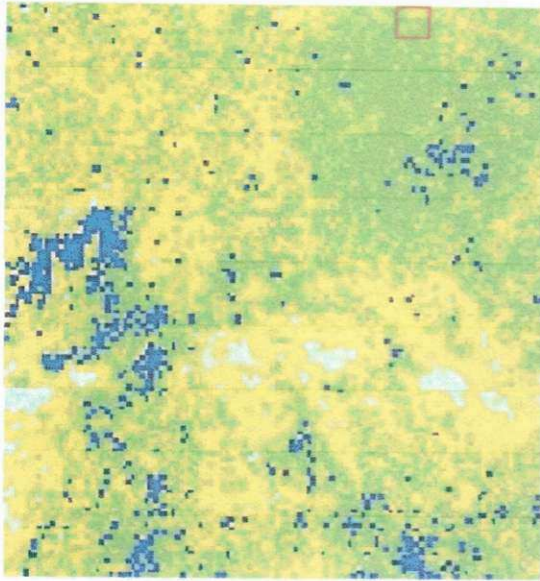
(c) 24-10-05 – LANDSAT



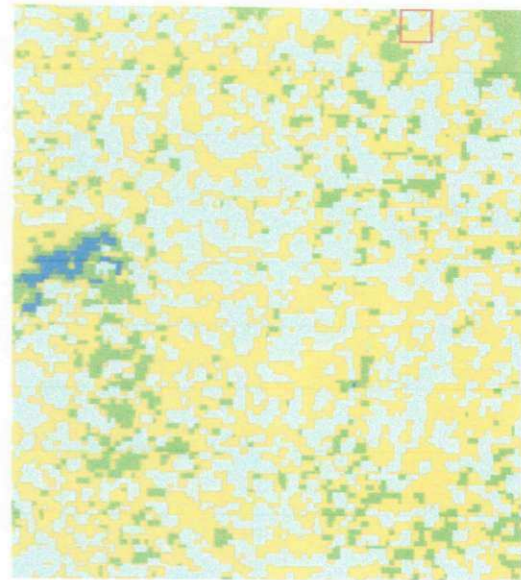
(d) 24-10-05 – NOAA

ALBEDO

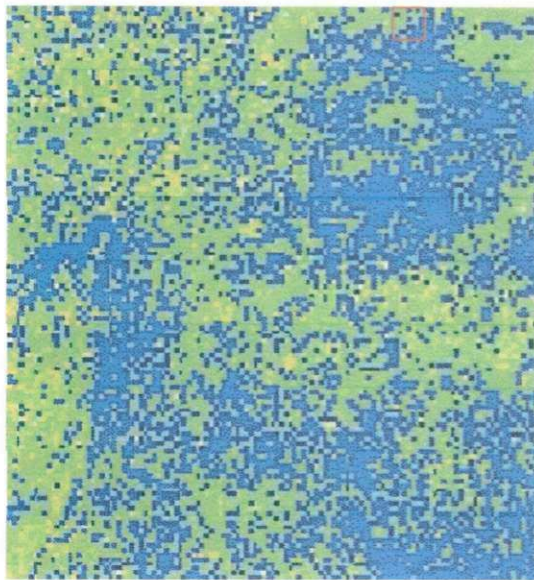
	0,04 - 0,13
	0,13 - 0,20
	0,20 - 0,22
	0,22 - 0,34
	> 0,34



(e) 28-01-06 – LANDSAT



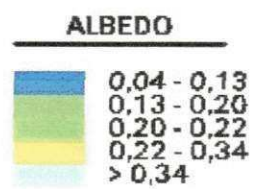
(f) 28-01-06 – NOAA

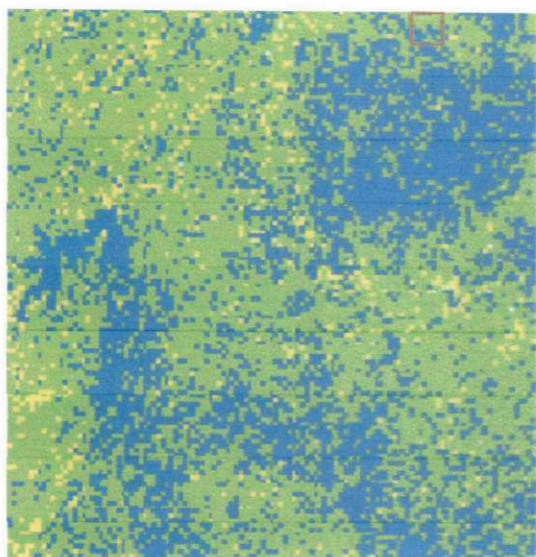


(g) 23-07-06 – LANDSAT



(h) 23-07-06 – NOAA

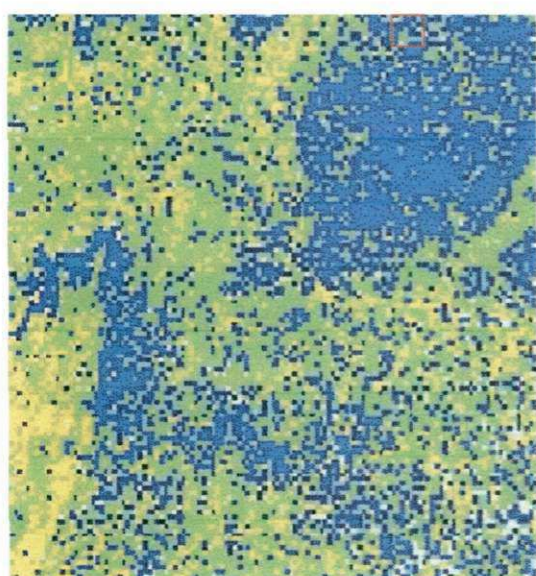




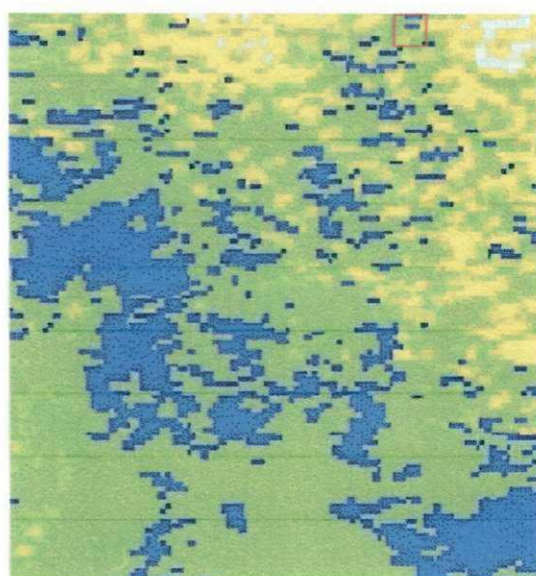
(i) 08-08-06 – LANDSAT



(j) 08-08-06 – NOAA



(l) 24-08-06 – LANDSAT



(m) 24-08-06 – NOAA

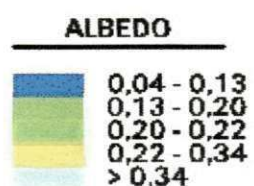


Figura 5 - Distribuição espacial do Albedo da Superfície (LANDSAT / NOAA) na região de Quixeré para 2005 e 2006.

A Figura 6 mostra a dispersão e a reta de regressão para os valores médios do albedo extraídos de seis imagens LANDSAT e NOAA (Figura 5) dos anos de 2005 e 2006 na fazenda Frutacor e vizinhanças para diferentes alvos, ou seja, áreas irrigadas de Frutíferas, Caatinga e área mista (Caatinga e Agricultura irrigada) (ver Figura 1).

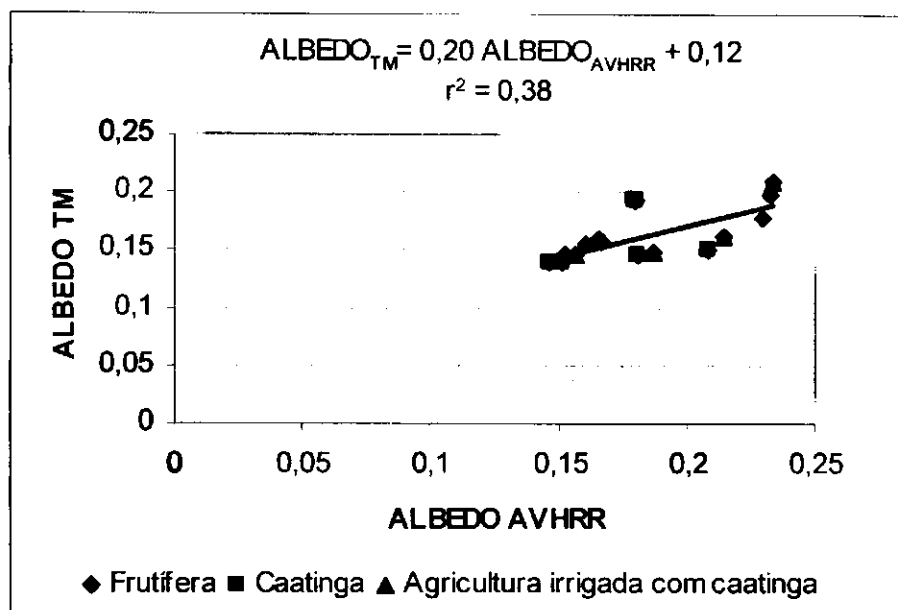


Figura 6 - Relação funcional do albedo médio obtido pelo AVHRR e TM para áreas de Frutífera, Caatinga e área mista (Caatinga e agricultura irrigada).

A equação de regressão obtida para os alvos é igual a: $\text{Albedo}_{\text{TM}} = 0,20 \text{ Albedo}_{\text{AVHRR}} + 0,12$. O erro padrão da estimativa foi de 1,79% (ANEXO A) com coeficiente de correlação linear igual a 0,62, o que implica num coeficiente de determinação $r^2 = 0,38$. O modelo linear explica, portanto, 38% da variância total dos dados. A significância do coeficiente de correlação linear (r) foi baseada no teste de Student (t), para o nível de significância de $\alpha = 0,01$, com 16 graus de liberdade da amostra (v), o que resultou em $t_{\text{tabelado}} = 2,58$ contra $t_{\text{cal}} = 3,14$. Como $t_{\text{cal}} > t_{\text{tabelado}}$, a hipótese nula de que não há correlação entre as duas populações foi rejeitada, o que significa que a hipótese não nula foi aceita.

Observando o coeficiente de correlação verificou-se que o albedo neste conjunto de dados médios de vegetação composta por Frutífera, Caatinga e área mista, 38% das variações encontradas no $\text{Albedo}_{\text{TM}}$ do modelo linear são explicados pela variável

independente ($Albedo_{AVHRR}$). É provável que o baixo percentual da variância esteja relacionado com a questão da capacidade do sensor AVHRR, como visto anteriormente, considerando sua baixa resolução espacial (1 km).

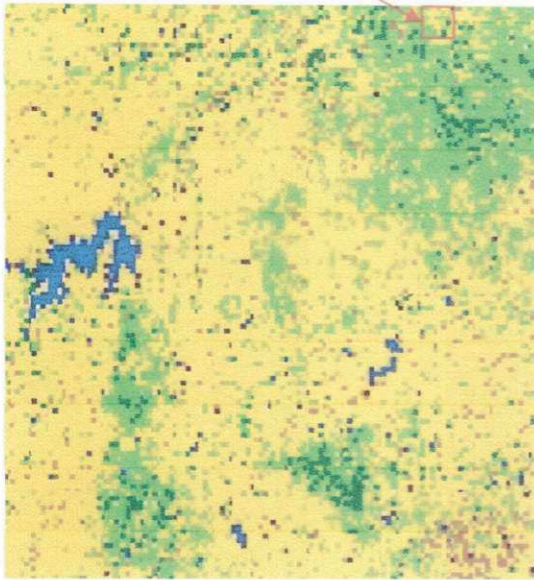
5.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN

As Figuras 7 (a) a 7 (m) representam a distribuição espacial e temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) para imagens LANDSAT-5/TM e AVHRR/NOAA para os anos de 2005 e 2006 na região de Quixeré – CE.

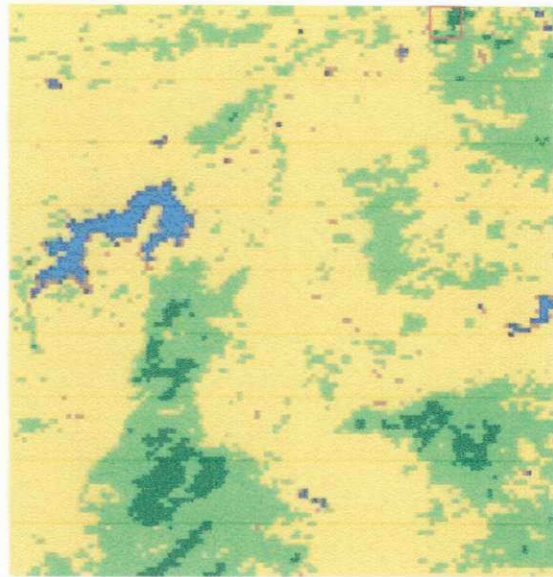
De acordo com Pereira et al. (2002), corpos d'água e nuvens têm IVDN negativo ou próximo de zero, os quais estão representadas pela cor azul. A maior ocorrência de nuvens foi verificada no dia 28 de janeiro de 2006 (Figuras 7e e 7f) sendo mais evidente na imagem NOAA. Valores entre 0,2 e 0,35, correspondentes a vegetação do tipo Caatinga, estão representados pela cor amarela com maior ocorrência nos meses de agosto e outubro de 2005 e janeiro de 2006 (Figuras 7c e 7e). Valores de IVDN entre 0,3 e 0,6 são observados na vegetação nativa (mata mais caatinga e área irrigada) na porção nordeste próximo à fazenda Frutacor, sudeste e sudoeste da região nos meses julho e agosto de 2006 (Figuras 7l e 7m), correspondendo ao período do fim da estação chuvosa. Para 2005, na mesma região e meses, também são observados valores desta magnitude, porém menos frequentes. Nos meses de outubro de 2005 e janeiro de 2006 predominaram os menores valores de IVDN. Em geral nesses meses as chuvas são mais escassas. Nos dois anos estudados evidenciou-se uma diferença significativa tanto no albedo quanto no IVDN. Essas diferenças estão relacionadas com ausência das chuvas principalmente em 2005 na região, como já comentado anteriormente. Mesmo nas áreas de frutíferas irrigadas observaram-se algumas diferenças. Como junho de 2006 foi bastante chuvoso, a vegetação permaneceu verde nos dois meses seguintes (julho e agosto), apresentando os maiores IVDNs de todo o período estudado.

Os resultados de IVDN obtidos neste estudo condizem com os de Braga et al. (2003 e 2006a) para o mesmo tipo de cobertura em diferentes regiões na região Nordeste do Brasil.

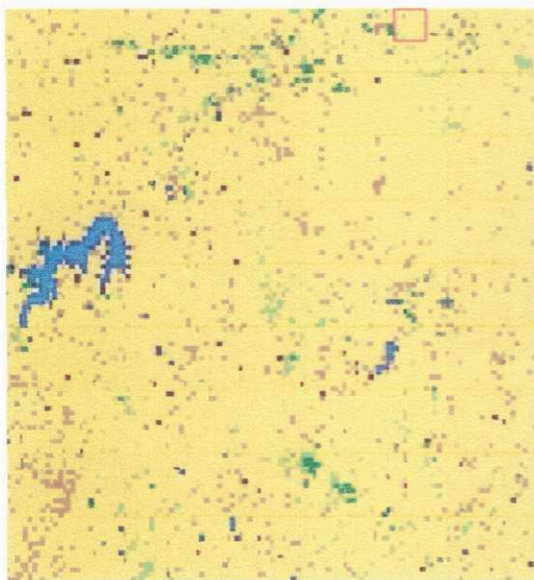
Frutacor



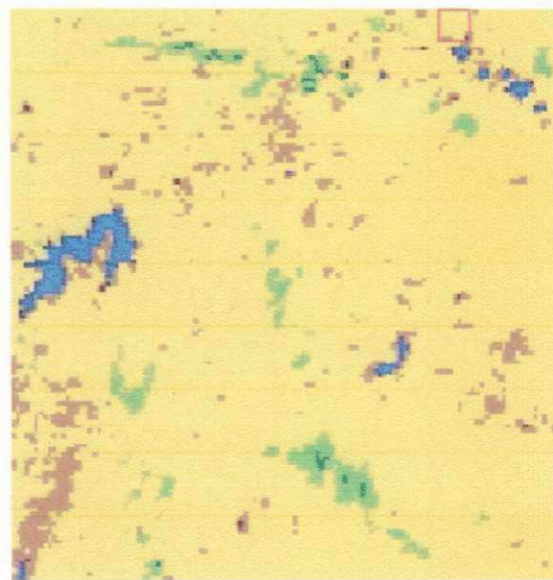
a) 21-08-05 – LANDSAT



(b) 21-08-05 – NOAA

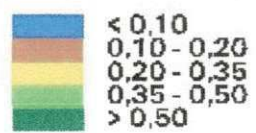


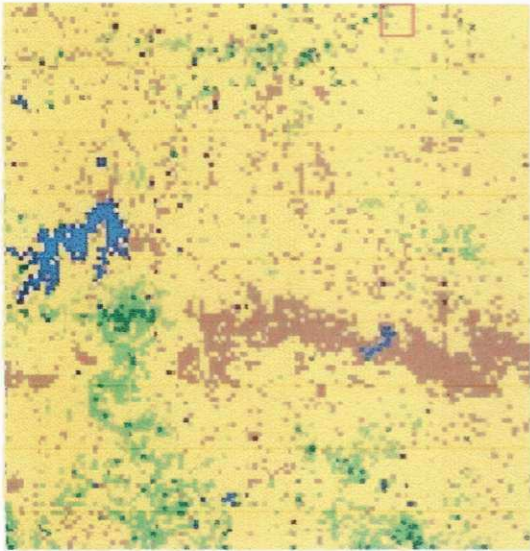
(c) 24-10-05 – LANDSAT



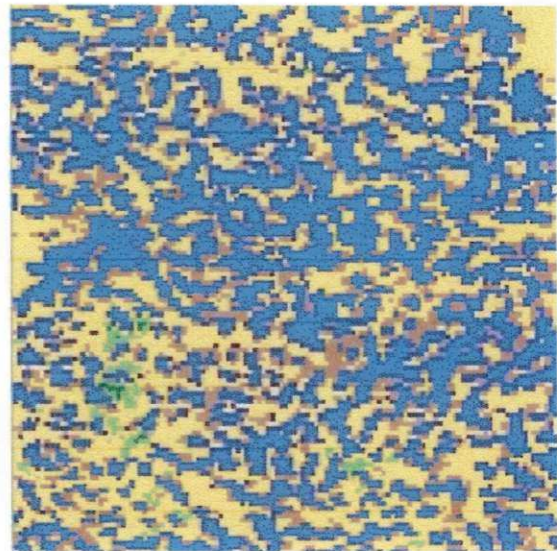
(d) 24-10-05 – NOAA

IVDN

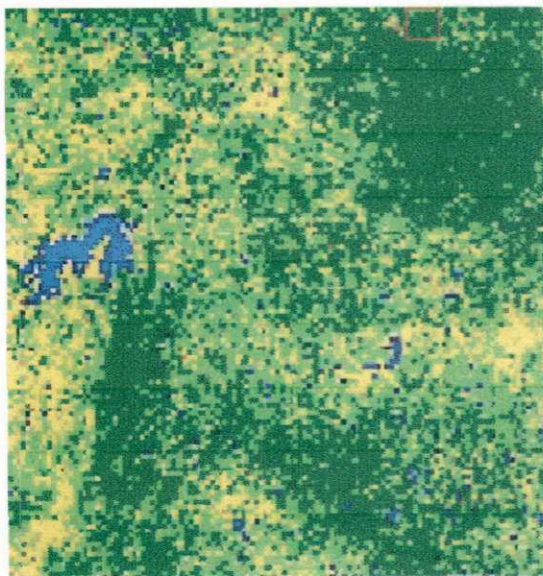




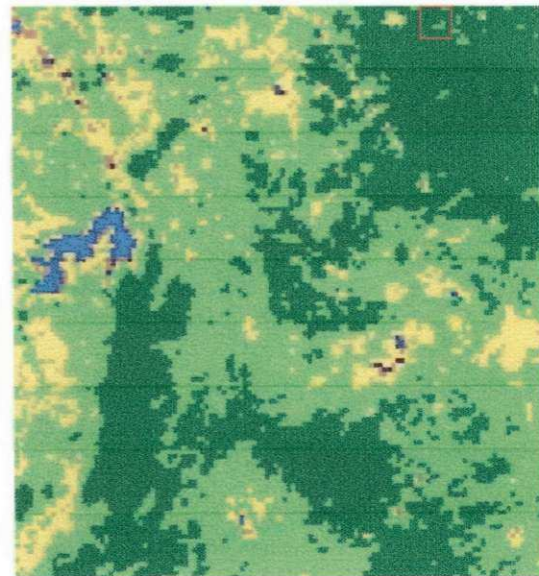
(e) 28-01-06 – LANDSAT



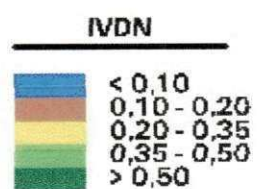
(f) 28-01-06 – NOAA



(g) 23-07-06 – LANDSAT

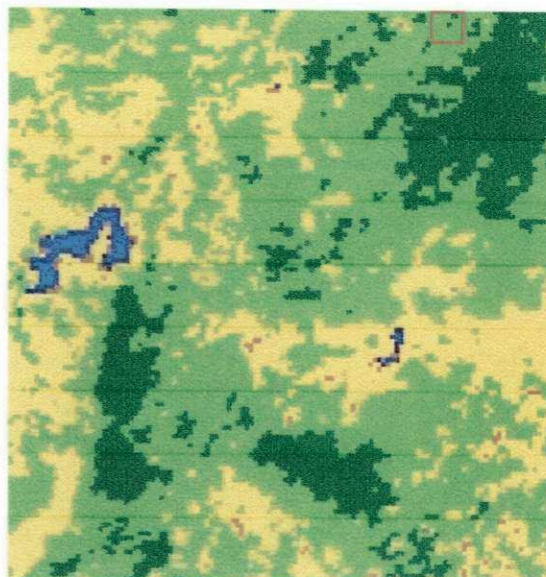


(h) 23-07-06 – NOAA

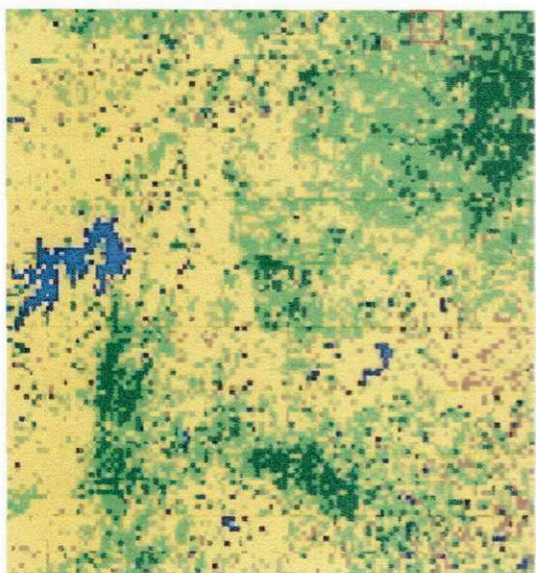




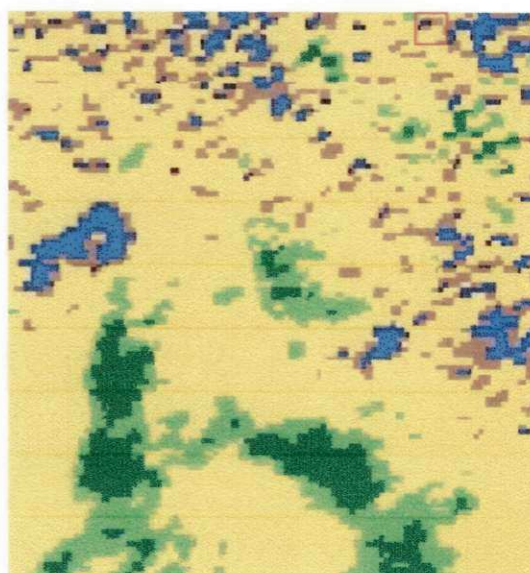
(i) 08-08-06 – LANDSAT



(j) 08-08-06 – NOAA



(l) 24-08-06 – LANDSAT



(m) 24-08-06 – NOAA

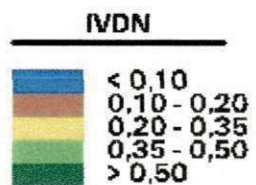


Figura 7 - Distribuição espacial do IVDN (LANDSAT / NOAA) na região de Quixeré para 2005 e 2006.

A Figura 8 representa a dispersão e a reta de regressão do IVDN médio obtido pelos satélites NOAA e LANDSAT para as seis imagens (Figura 7) selecionadas de 2005 e 2006 na fazenda Frutacor e vizinhanças para diferentes alvos, ou seja, áreas irrigadas de Frutíferas, Caatinga e área mista (Caatinga mais Agricultura irrigada) (ver Figura 1).

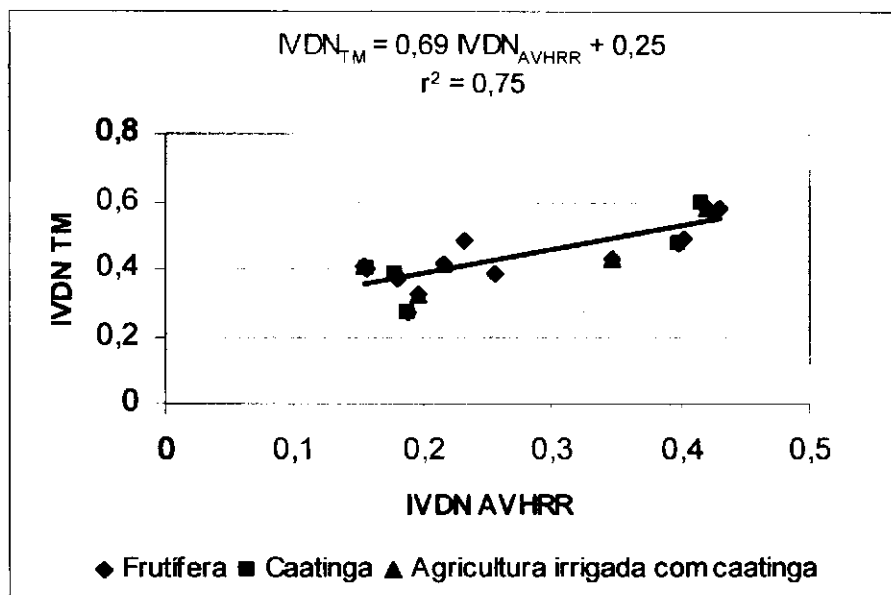


Figura 8 - Relação funcional do IVDN Médio obtido pelo AVHRR e TM para áreas de Frutífera, Caatinga e área mista (Caatinga mais Agricultura irrigada).

A equação de regressão linear obtida para o IVDN é dada por: $IVDN_{TM} = 0,69 IVDN_{AVHRR} + 0,25$. O erro padrão da estimativa foi de 4,77% (ANEXO A) e o coeficiente de correlação linear igual a 0,87, o que implica num coeficiente de determinação $r^2 = 0,75$, ou seja, o modelo linear explica 75% da variância total da variável dependente. A significância $\alpha = 0,01$ do coeficiente de correlação linear resultou em $t_{\text{tabelado}} = 2,58$ contra $t_{\text{cal}} = 6,96$, assim, como $t_{\text{cal}} > t_{\text{tabelado}}$, a hipótese nula de que não há correlação entre as duas populações foi rejeitada, o que significa que a hipótese não nula foi aceita.

Em média sobre frutífera irrigada, caatinga e área mista o IVDN apresentou 75% da variância explicada. Portanto, na ausência de dados do IVDN/TM, sugere-se utilizar os dados do IVDN/AVHRR com precisão razoável. Os resultados obtidos pelo modelo linear dos mínimos quadrados sobre diferentes alvos foram mais bem explicados neste estudo do que os encontrados por Braga et al. (2006 a) na região do Vale do São Francisco, no qual os autores utilizaram os dados pontuais em diferentes alvos em lugar

da média espacial do parâmetro. Logo, é mais confiável trabalhar com média, pois é mais representativa da variabilidade do IVDN em determinadas áreas suavizando a contaminação por nuvens.

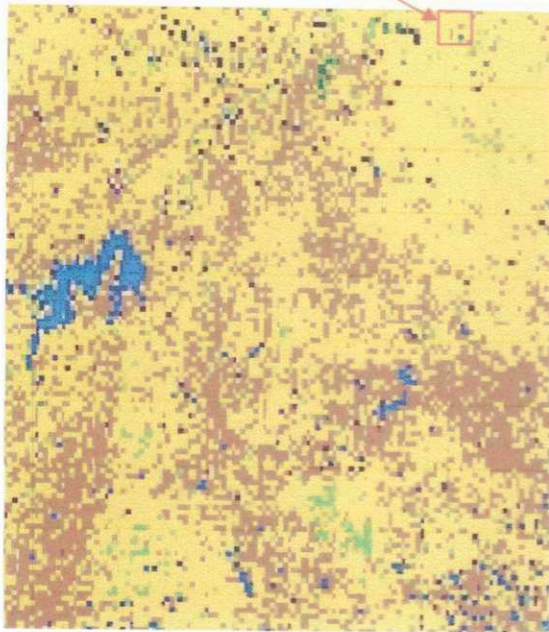
5.3 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI

As Figuras 9 (a) a 9 (m), representam a distribuição espacial e temporal do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI nos anos de 2005 e 2006 na fazenda Frutacor e proximidades de Quixeré – CE.

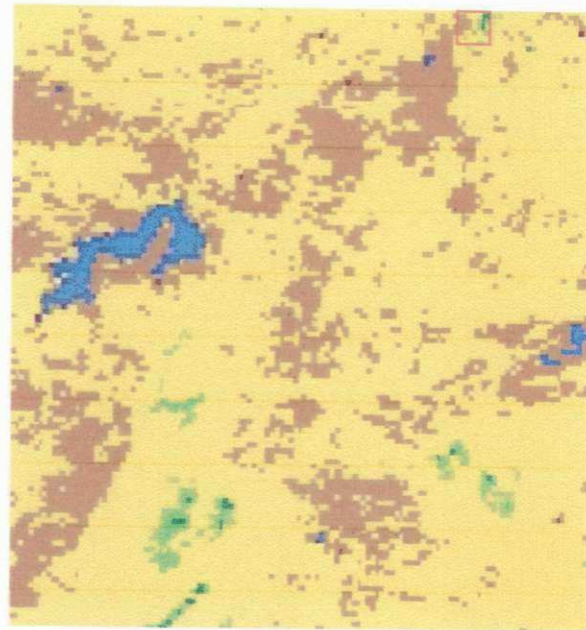
As mesmas considerações atribuídas para o IVDN foram consideradas na análise do SAVI, uma vez que o segundo é derivado do primeiro. Porém, foram observadas algumas diferenças entre os dois, pois o SAVI em determinadas áreas apresentou valores menores. Comparando esses dois índices, é visível uma predominância maior do SAVI, em tons amarelados, em quase todas as imagens correspondendo à vegetação de caatinga, com valores variando entre 0,15 a 0,30, com exceção de janeiro de 2006, mês em que ocorreu com menos frequência. Isso deve estar relacionado à utilização do fator 0,5 para minimizar os efeitos do solo, conforme comentado por Rosendo & Rosa (2005).

Como já foi visto, a maior ocorrência de nuvens ocorreu nos dias 28 de janeiro de 2006 (Figuras 9e e 9f) e 24 de agosto de 2006 (Figuras 9l e 9m), apresentando valores inferiores a 0,1 (cor azul). Os SAVIs mais baixos, correspondendo a solo seco e de pouca vegetação variaram de 0,1 e 0,15, observados com maior frequência nas imagens de 2005 (Figuras 9a e 9c). Nas áreas de cultura irrigada, nas proximidades da fazenda Frutacor (nordeste das imagens), bem como no sudoeste da região foram encontrados valores da ordem de 0,2 a 0,5 com maior ocorrência em julho de 2006 e valores superiores a 0,5 sobre vegetação nativa, principalmente em julho e agosto de 2006.

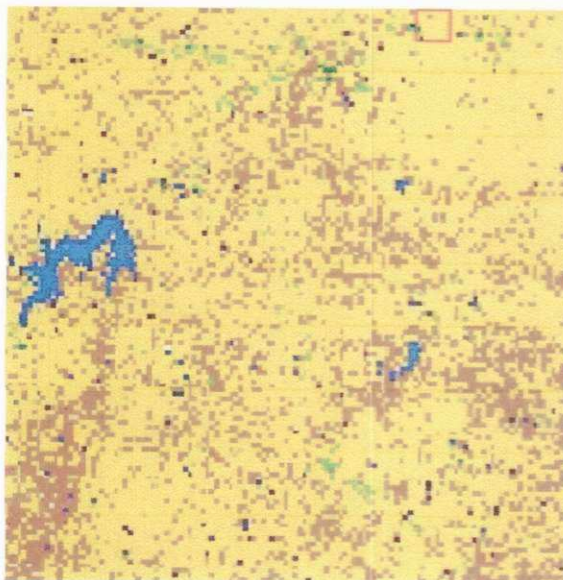
Frutacor



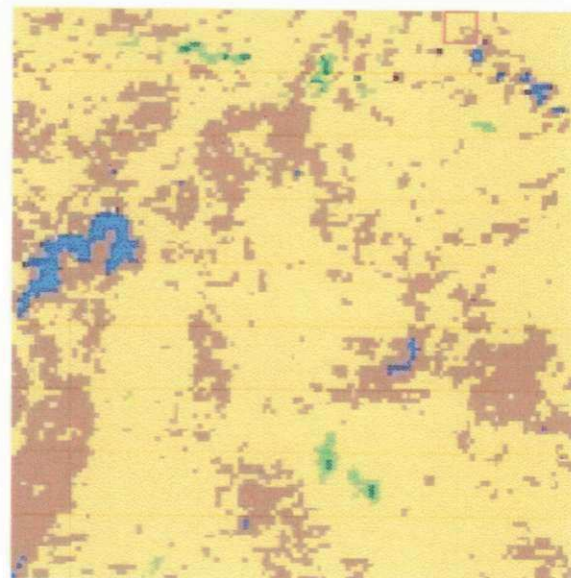
(a) 21-08-05 – LANDSAT



(b) 21-08-05 – NOAA



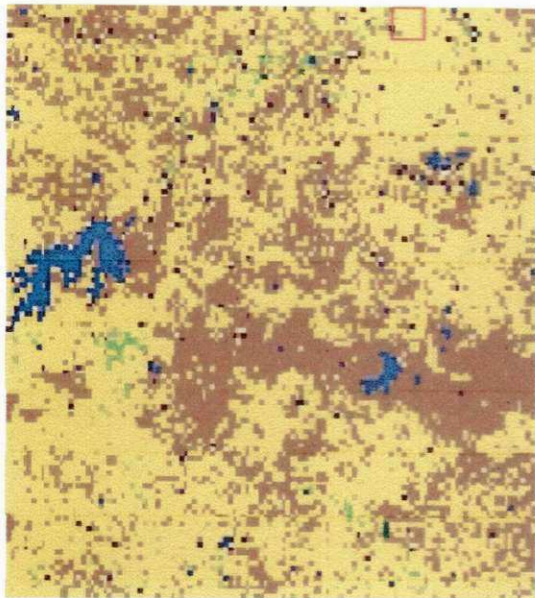
(c) 24-10-05 – LANDSAT



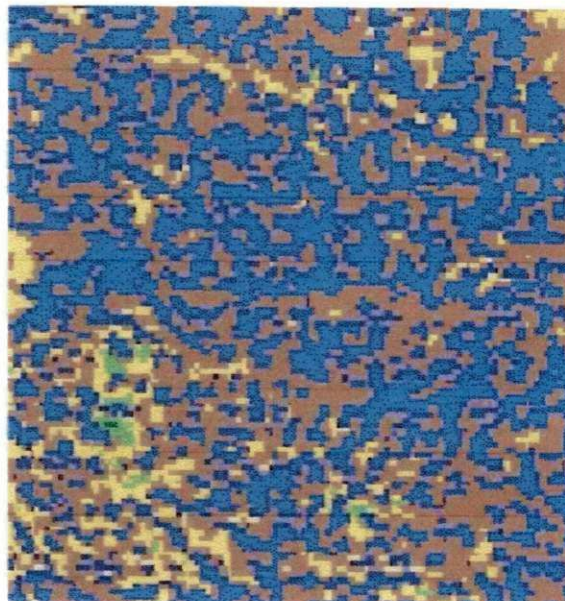
(d) 24-10-05 – NOAA

SAVI

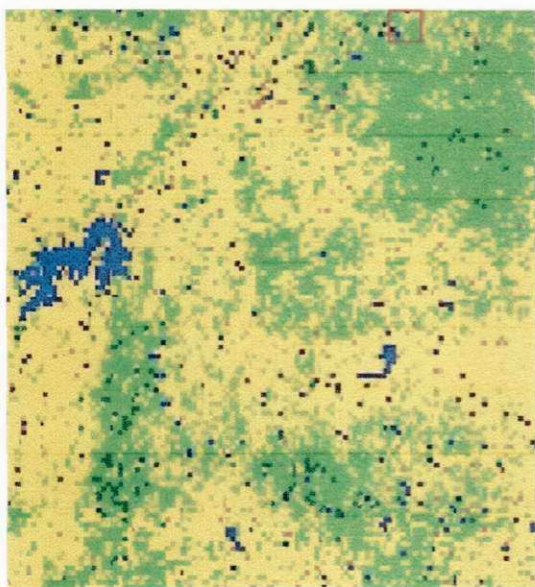




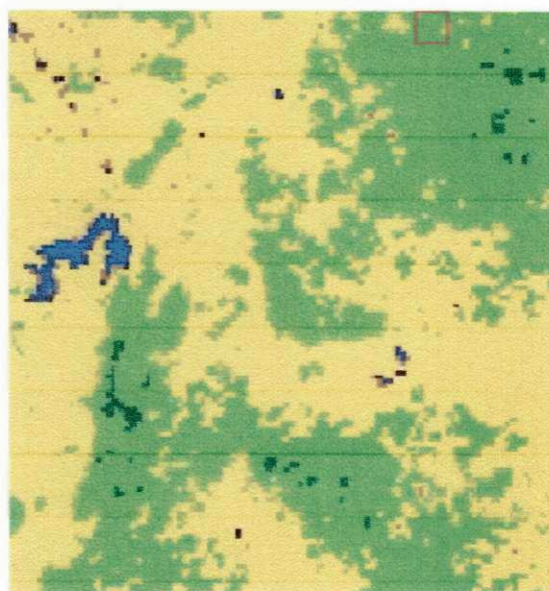
(e) 28-01-06 – LANDSAT



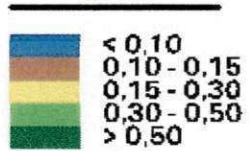
(f) 28-01-06 – NOAA

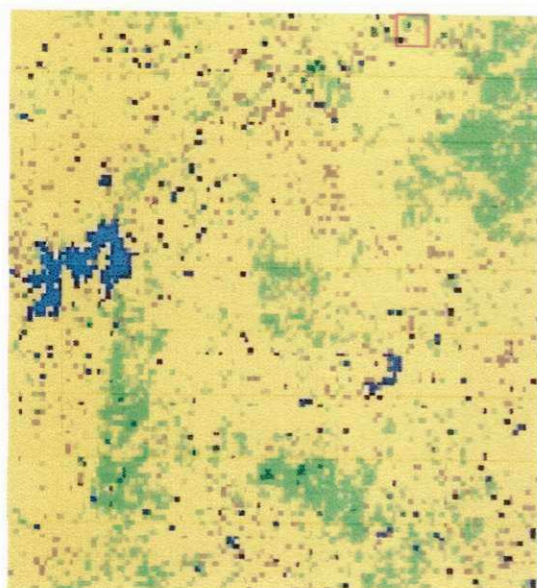


(g) 23-07-06 – LANDSAT

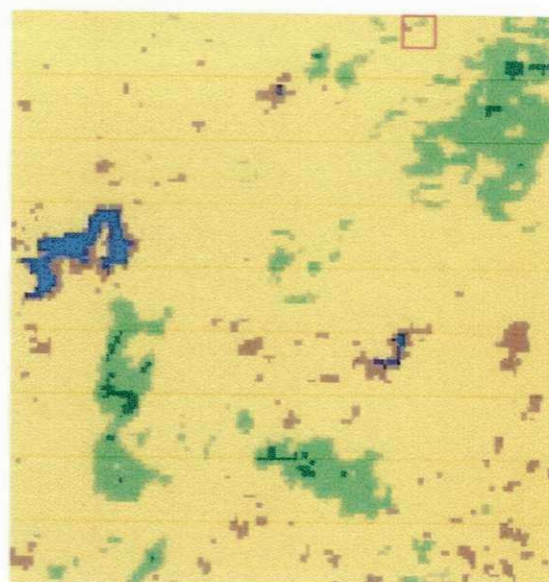


(h) 23-07-06 – NOAA

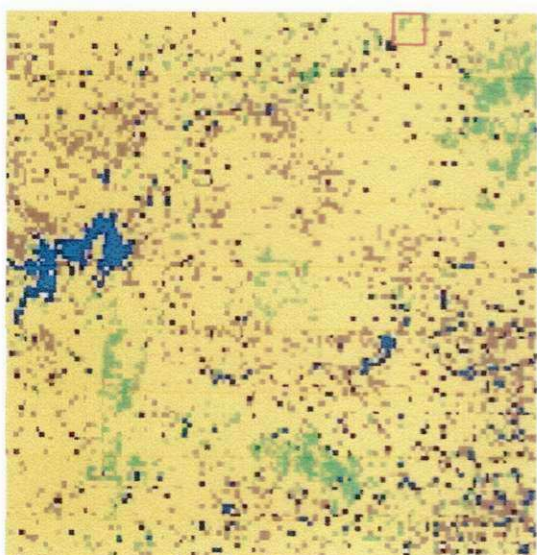
SAVI



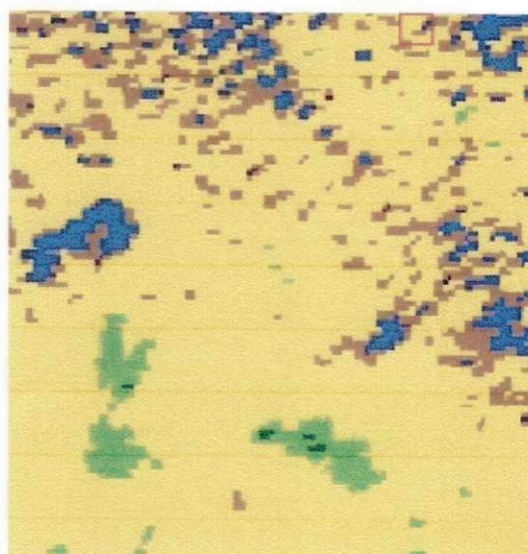
(i) 08-08-06 – LANDSAT



(j) 08-08-06 – NOAA



(l) 24-08-06 – LANDSAT



(m) 24-08-06 – NOAA

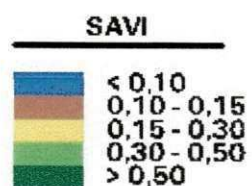


Figura 9 - Distribuição espacial do SAVI (LANDSAT / NOAA) na região de Quixeré para 2005 e 2006.

A Figura 10 ilustra a dispersão e a reta de regressão do SAVI médio obtido dos satélites AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT para seis imagens selecionadas (Figura 9) de 2005 e 2006 na fazenda Frutacor e vizinhanças para diferentes alvos, ou seja, áreas irrigadas de Frutíferas, Caatinga e área mista (Caatinga mais agricultura irrigada) (ver Figura 1).

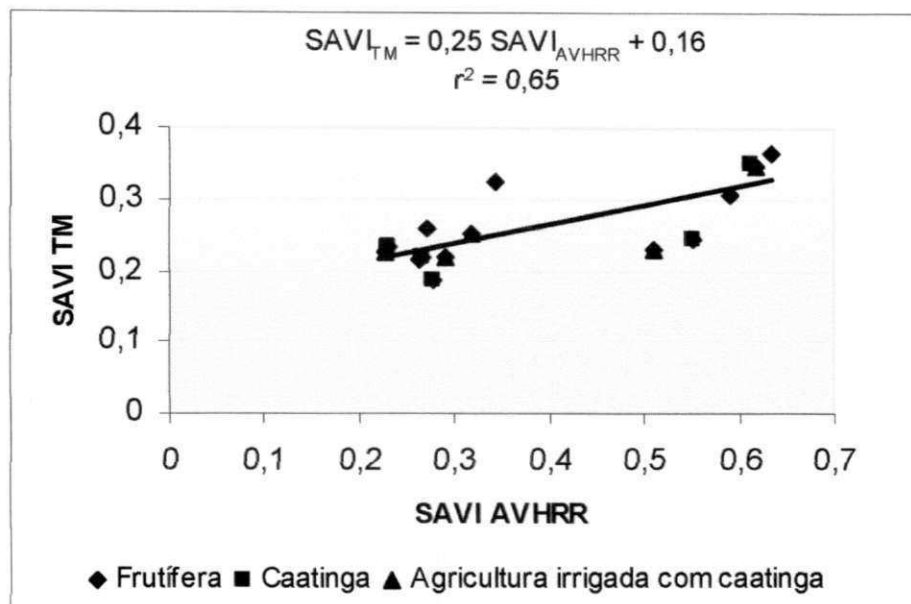


Figura 10 - Relação funcional do SAVI Médio obtido pelo AVHRR e TM para áreas de Frutífera, Caatinga e área mista (Caatinga mais agricultura irrigada).

A equação de regressão obtida para o SAVI é: $SAVI_{TM} = 0,25 SAVI_{AVHRR} + 0,16$. O erro padrão da estimativa foi de 3,45% (ANEXO A) e o coeficiente de correlação linear igual a 0,81, o que implica num coeficiente de determinação $r^2 = 0,65$. O modelo linear explica, portanto, 65 % da variância total dos dados. A significância $\alpha = 0,01$ do coeficiente de correlação linear resultou em $t_{\text{tabelado}} = 2,58$ contra $t_{\text{cal}} = 5,48$, logo, como $t_{\text{cal}} > t_{\text{tabelado}}$, a hipótese nula de que não há correlação entre as duas populações foi rejeitada, o que significa que a hipótese não nula foi aceita.

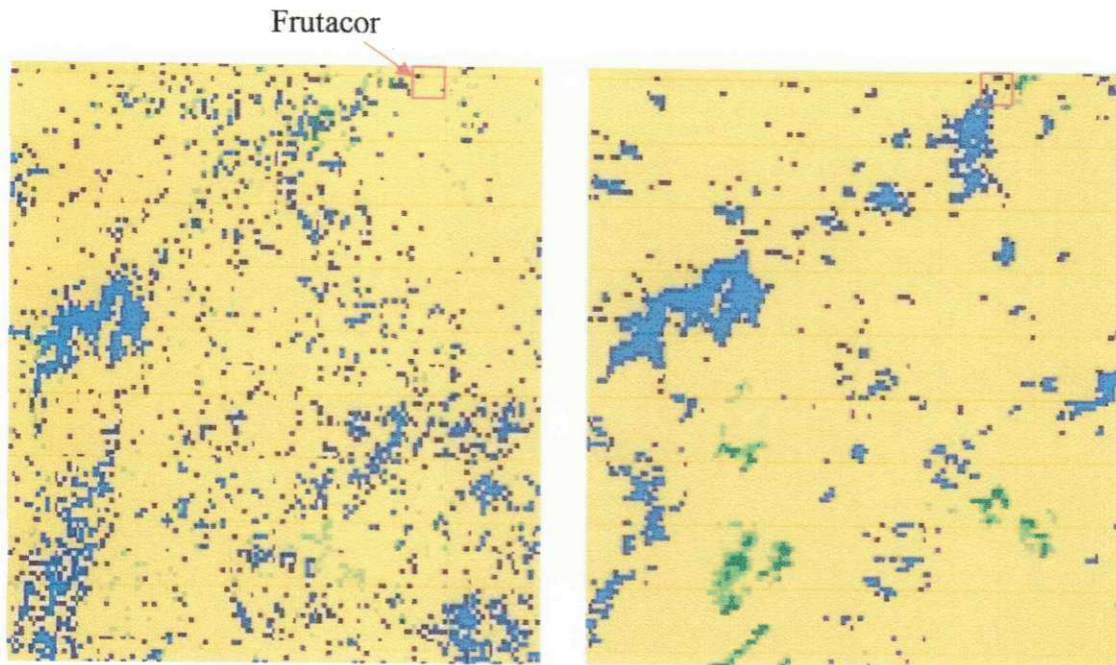
Observando o coeficiente de correlação verificou-se que o $SAVI_{TM}$ neste conjunto de dados médios de vegetação composta por Frutífera, Caatinga e área mista, 65% das variações encontradas do modelo linear são explicados pela variável independente ($SAVI_{AVHRR}$). Em média o SAVI apresentou em relação ao IVDN um percentual menor da variância explicada, apesar de serem proporcionais.

5.4 Índice de Área Foliar - IAF

As Figuras de 11 (a) a 11 (m), representam a distribuição espacial e temporal do Índice de Área Foliar - IAF para imagens LANDSAT-5/TM e AVHRR/NOAA em composição colorida para seis dias selecionados, em áreas nas proximidades de Quixeré - CE.

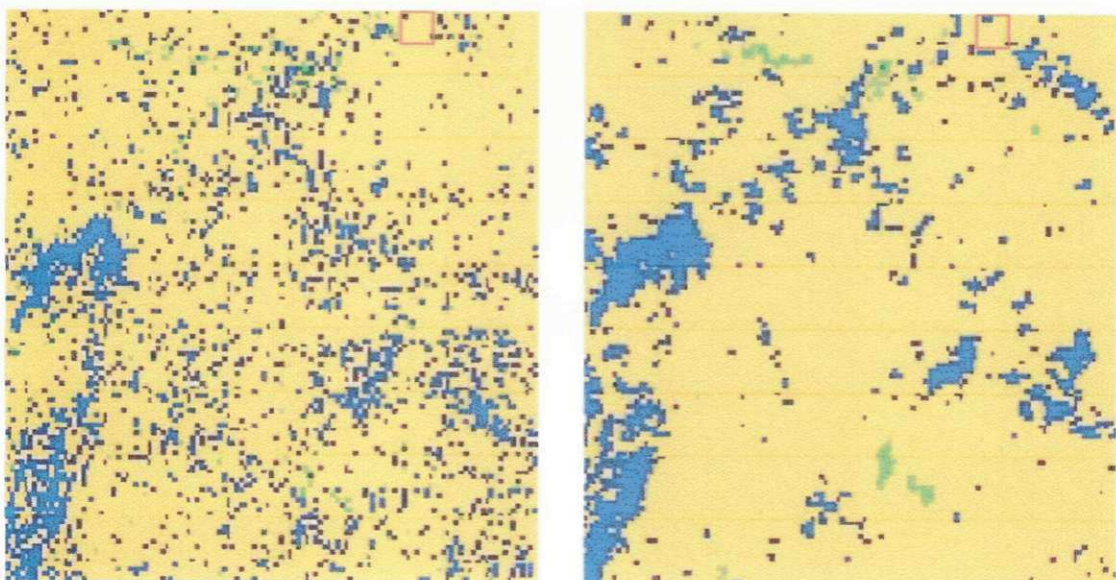
O IAF foi estimado pela equação empírica de Allen et al. (2002). Sendo IAF função do SAVI a variabilidade espacial dos mesmos para os dois satélites se assemelham. Os valores mais altos variando entre 2,0 e 5,0 são encontrados no nordeste e sudoeste da região para os dias 23 de julho e 08 de agosto de 2006, onde a vegetação é mais desenvolvida (mata e agricultura irrigada). Isso pode ser confirmado pela distribuição espacial e temporal do IVDN (Figura 7g e 7i). Para vegetação Caatinga foram encontrados IAFs de 0,25 a 0,6. Na região da fazenda Frutacor, no geral, o IAF variou entre 0,60 a 3,0. Esses valores são próximos aos de cobertura de agricultura irrigadas encontrados em outros estudos (FIDELES et al., 2005).

Os valores mais baixos entre 0 e 0,1, corresponderam aos corpos d'água, nuvens e solo pouco vegetado com maior ocorrência em janeiro de 2006 devido a alta nebulosidade. Estes baixos valores encontrados em 2005 foram causados pela escassez de chuva na região. Segundo Myneni et al. (1997) os valores de IAF sobre pastagem, arbustos, áreas de plantio, savanas e florestas variaram de 0,75 a 4,5. Huete (1994) encontrou para a cultura de algodão com diferentes tipos de solo o IAF entre 0 a 3,6. Os resultados deste trabalho, obtidos na região, principalmente para cultura irrigada de melão, banana e vegetação nativa, se aproximam dos encontrados pelos autores acima.



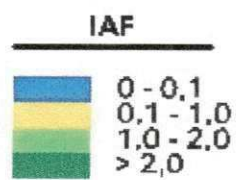
a) 21-08-05 – LANDSAT

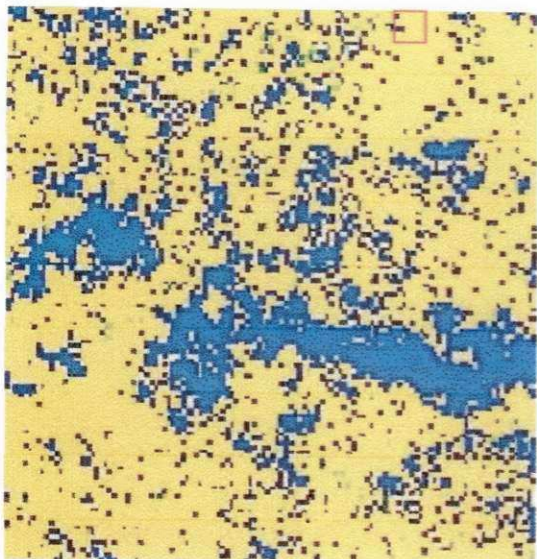
b) 21-08-05 – NOAA



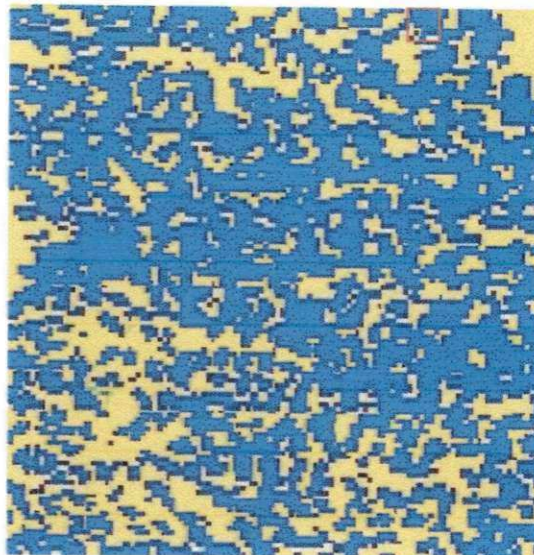
(c) 24-10-05 – LANDSAT

(d) 24-10-05 – NOAA

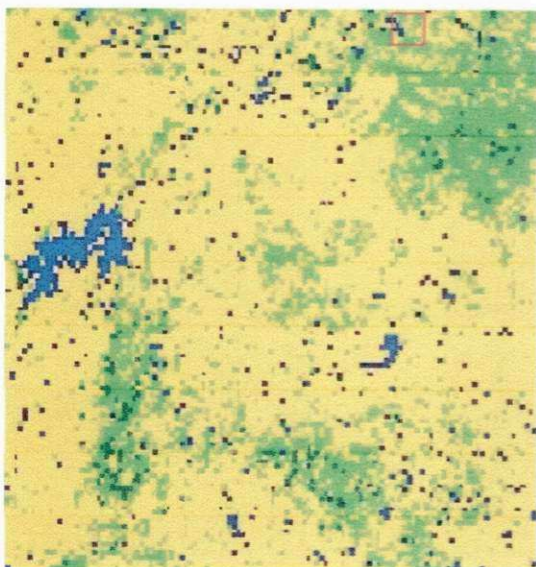




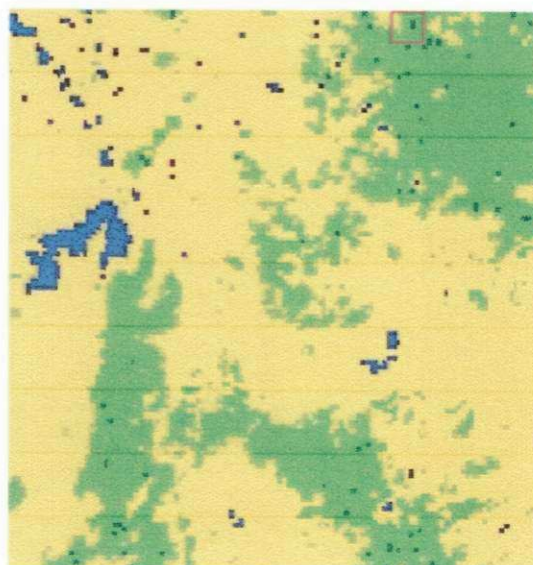
(e) 28-01-06 – LANDSAT



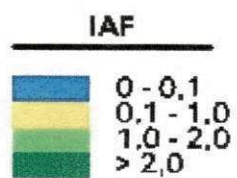
(f) 28-01-06 – NOAA

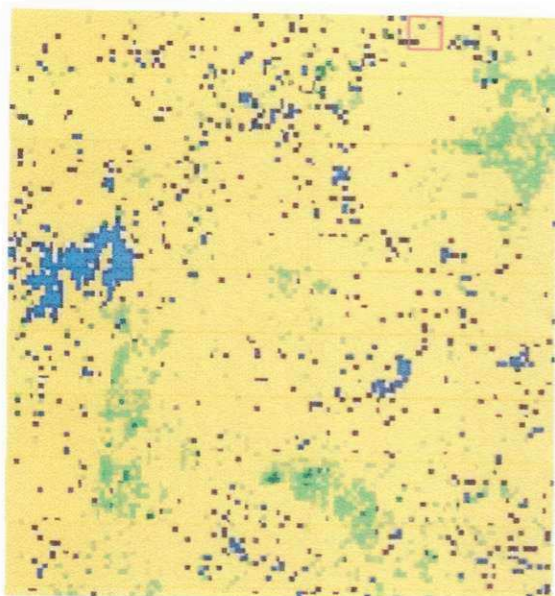


(g) 23-07-06 – LANDSAT

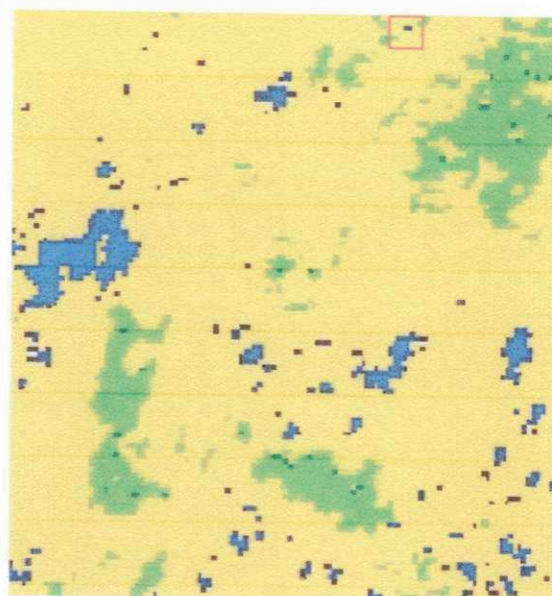


(h) 23-07-06 – NOAA

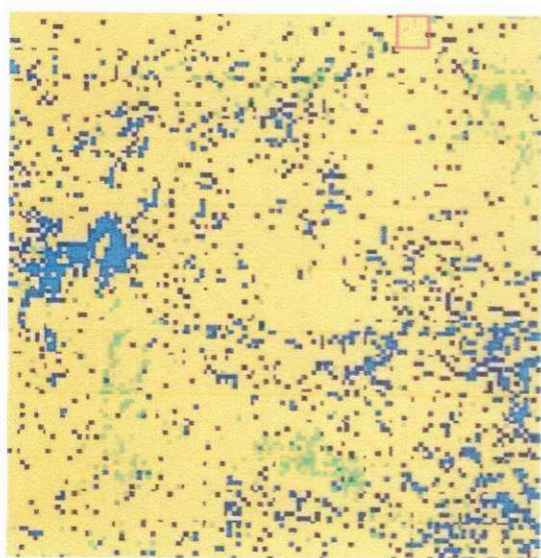




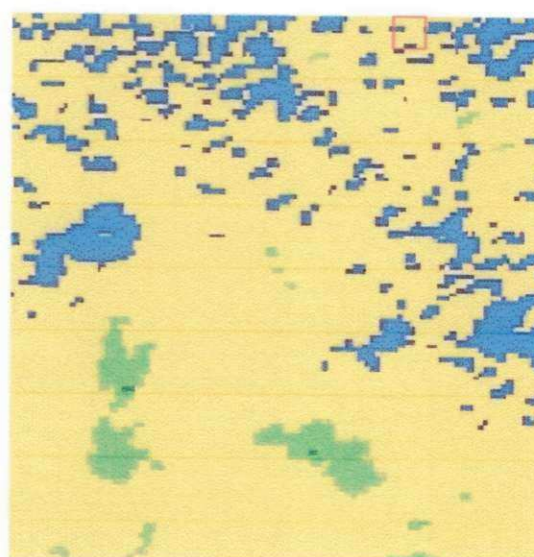
(i) 08-08-06 – LANDSAT



(j) 08-08-06 – NOAA



(l) 24-08-06 – LANDSAT



(m) 24-08-06 – NOAA

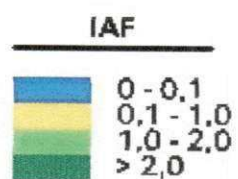


Figura 11 - Distribuição espacial do IAF (LANDSAT / NOAA) na região de Quixeré para 2005 e 2006.

A Figura 12 mostra a dispersão e a reta de regressão dos mínimos quadrados para o IAF estimado pelos satélites AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT para seis imagens selecionadas (Figura 11) de 2005 e 2006 na fazenda Frutacor e vizinhanças para diferentes alvos, ou seja, áreas irrigadas de Frutíferas, Caatinga e área mista (Caatinga mais agricultura irrigada) (ver Figura 1).

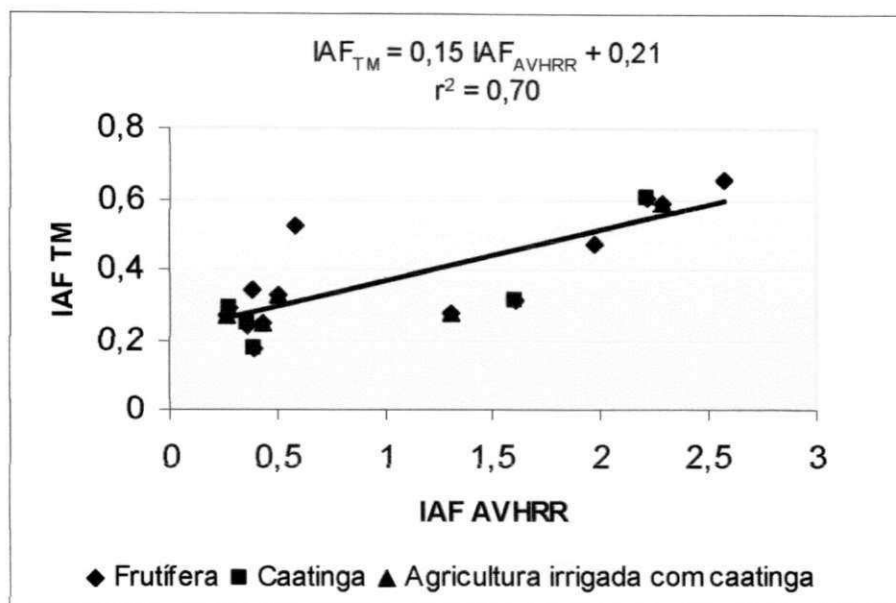


Figura 12 - Relação funcional do IAF Médio obtido pelo AVHRR e TM para áreas de Frutífera, Caatinga e área mista (Caatinga mais agricultura irrigada).

A equação de regressão obtida é: $IAF_{TM} = 0,15 IAF_{AVHRR} + 0,21$. O erro padrão da estimativa foi de 8,36% (ANEXO A), isso provavelmente está relacionado com a disparidade de alguns valores médios de IAF entre AVHRR e TM bem como o efeito provocado por nuvens, principalmente nas imagens do dia 28 de janeiro de 2006. O coeficiente de correlação linear do modelo de 0,84 implica num coeficiente de determinação $r^2 = 0,70$. O modelo linear explica, portanto, 70 % da variância total dos dados. A significância $\alpha = 0,01$ do coeficiente de correlação linear resultou em $t_{\text{tabelado}} = 2,58$ contra $t_{\text{cal}} = 6,13$, logo, como $t_{\text{cal}} > t_{\text{tabelado}}$, a hipótese nula de que não há correlação entre as duas populações foi rejeitada, o que significa que a hipótese não nula foi aceita. O modelo linear médio para os diferentes tipos de alvos de frutífera irrigada, caatinga e área mista explica que 70% das variações encontradas são explicadas pela variável independente IAF_{AVHRR} .

5.5 Comparação entre os valores de albedo medidos e calculados

Na tabela 1, estão apresentados os valores do albedo da superfície para seis dias selecionados nos anos de 2005 e 2006. Estes valores referem-se ao albedo medido e o calculado pelo SEBAL com os seus respectivos erros, num ponto localizado na área da fazenda Frutacor (Figura 1).

Frutacor	ALBEDO DA SUPERFÍCIE		
	Medido	LANDSAT	NOAA
24/10/2005	0,165	0,21	0,232
28/01/2006	0,161	0,182	0,296
23/07/2006	0,161	0,163	0,156
08/08/2006	0,169	0,169	0,157
24/08/2006	0,168	0,149	0,158
ERRO		2,38%	6,78%

Tabela 1. Comparação entre os valores de albedo medidos e estimados pelo SEBAL.

Para os valores medidos no ponto (pomar de bananeiras) cujas coordenadas são 5° 04' 35. 34" S e 37° 51' 54. 184" W (Figura 1), observou-se que as diferenças entre os valores medidos e calculados (TM e AVHRR) foram pequenas, com exceção dos dias 24/10/2005 e 28/01/2006, com erros de aproximadamente 2,38% e 6,78%. Os maiores valores de albedo encontrados na fazenda e vizinhanças corresponderam aos dias 24 de outubro de 2005 e 28 de janeiro de 2006, os quais variam entre 20 e 34% conforme Figuras 5c e 5e. Já os valores medidos no ponto foram inferiores a 17% para todos os dias estudados. É evidente que essas diferenças podem estar relacionadas com os efeitos da correção atmosférica intrínseca do Sebal, diferença no horário de passagem dos satélites, assim como presença de nuvens. Em geral os erros calculados não ultrapassaram 7%. Esses valores estão em concordância com os obtidos por Song et al. (1999) sobre vegetações pastagem e agricultura em diferentes locais nos EUA, utilizando distintos métodos para estimar o albedo. Sendo que dos métodos utilizados o que apresentou menor erro de 2,2% foi o desenvolvido pelos autores, com o albedo variando entre 12 e 28%.

Silva et al. (2005) também obtiveram albedos variando entre 15 e 25% em áreas irrigadas na região do vale do São Francisco.

5.6 Estimativa da Fração Vegetação

As Figuras 13 (a) e (b) abaixo mostram a fração de vegetação para o mês de agosto de 2005 e 2006.

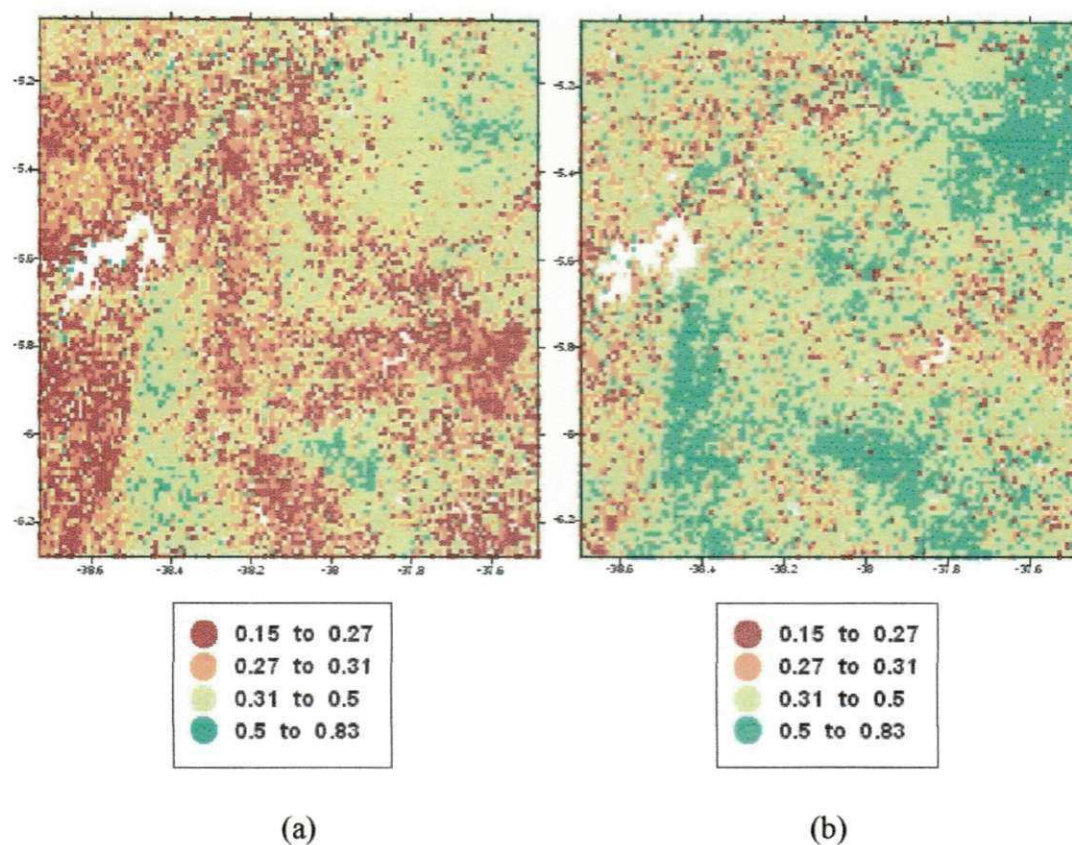


Figura 13 - Distribuição espacial da Fração Vegetação para o mês de agosto de 2005 e 2006.

Os diferentes tipos de vegetação introduzidos em cada região foram estimados a partir dos valores de IVDN segundo Neves (2005). Os espaços não preenchidos nas Figuras 13 (a) e (b) correspondem a valores de IVDN negativos ou iguais a zero eliminados durante o processamento das imagens. Estes valores não são relevantes no estudo da fração, pois correspondem a corpos d'água e nuvens (Parkinson, 1997).

Na Tabela 2 estão mostrados os valores da F_{veg} estimada em cada grupo para 2005 e 2006.

Fração Vegetação	G-1 (0,15 – 0,27)	G-2 (0,27 – 0,31)	G-3 (0,31 – 0,50)	G-4 (0,50 – 0,83)
21-08-2005	23,8%	24,3%	47,7%	4,2%
08-08-2006	6,2%	11,1%	59,2%	23,5%

Tabela 2. Fração de vegetação e variabilidade do IVDN em quatro grupos selecionados nos anos de 2005 e 2006 na região de estudo.

Determinou-se a fração vegetação em cada grupo e sua variação de um ano para outro. A mesma foi parametrizada de acordo com a quantidade de vegetação que ocupa cada grupo para o mês de agosto dos anos selecionados 2005 e 2006 e a área total da região de estudo é de 15.225 km².

O Grupo 1 (cor marrom) apresentou uma variação no IVDN de 0,15 a 0,27 correspondendo a solo seco e pouco vegetado (Figura 14), sendo o valor médio dessa classe em torno de 0,21. Em 2005 (Figura 13a), a F_{veg} foi da ordem de 23,8% ocupando uma área de 3.623 km². Já em 2006 (Figura 13b) a fração resultou em 6,2%, com área de 994 km². A diminuição da fração neste grupo da ordem de 17,3% deve-se ao fato de que, neste período em 2005 foi menos chuvoso do que 2006 (ANEXO B).

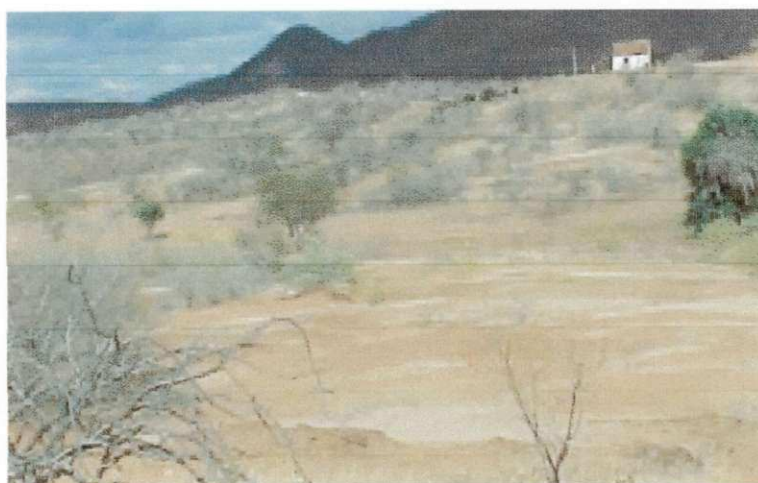


Figura 14 - Solo seco e pouco vegetado

O Grupo 2 (laranja), que corresponde à vegetação de caatinga (Figura 15), teve IVDN variando de 0,27 a 0,31, com média do grupo da ordem de 0,29. A F_{veg} em 2005 foi de 24,3%, ocupando uma área 3.700 km², enquanto que em 2006 foi de 11,1% com

ocupação de 1.690 km². Neste grupo, ocorreu um decréscimo de 13,2% da fração vegetada com relação a 2006. Isto pode ser atribuído a maior quantidade de chuva na região em 2006 conforme dados da FUNCEME (ANEXO B).



Figura 15 – Vegetação de caatinga

O Grupo 3 (verde claro) representado por áreas irrigadas ao nordeste e áreas de vegetação nativa no sudoeste da região (Figura 16) apresentou IVDNs variando de 0,31 a 0,50 e média do grupo da ordem 0,40. A F_{veg} em 2005 foi de 47,7% ocupando 7.262 km², enquanto que em 2006 a F_{veg} foi de 59,9% e área de 9,013 km². Para este grupo, observa-se claramente aumento da fração em 11,5 % de 2005 para 2006.



Figura 16 - Vegetação nativa

O Grupo 4 (verde escuro) apresentou IVDN variando de 0,50 a 0,83 com média da classe de 0,66. Nesta região a vegetação predominante é Mata dos Cocais (Carnaúbas, dentre outras) (Figura 17). A F_{veg} em 2005 e 2006, respectivamente, foi de 4,2% (639 km²) e 23,5% (3578 km²), ou seja, uma diferença de 19,3 % em relação a 2006.



Figura 17 - Carnaúbas em Quixeré/CE (Mata dos Cocais)

Os resultados encontrados em cada grupo mostraram que em 2005 houve diminuição da fração nos grupos 1 e 2, enquanto que em 2006 ocorreu aumento da mesma nos grupos 3 e 4. Vale ressaltar que isso está relacionado com a questão da pluviosidade que variou bastante entre os dois anos e também com outro fator bastante relevante que é o albedo à superfície, avaliado no item 5.1, e que é preponderante para a análise da cobertura vegetal. No geral, observaram-se diferenças consideráveis na distribuição espacial da fração vegetada entre 2005 e 2006. Essas diferenças foram mais marcantes sobre as regiões de solo seco, pouco vegetado e de caatinga em 2005.

Em síntese, de acordo com as análises da fração vegetação, o grupo 3 apresentou a menor variabilidade do IVDN, por tratar de áreas de cultura irrigada e de cobertura vegetal mais homogênea. Enquanto a maior variação interanual do IVDN foi detectada no grupo 4, com vegetação de mata nativa (Cocais).

6. CONCLUSÕES E SUGESTÃO

Parâmetros da vegetação obtidos a partir das imagens AVHRR e TM permitiu extrair informações importantes sobre os diferentes parâmetros e alvos estudados. A análise espacial e temporal desses possibilitou-se encontrar relações funcionais importantes entre eles e suas aplicações em estudos posteriores.

No que diz respeito ao IVDN, SAVI e IAF os maiores valores foram registrados em 2006 principalmente nos meses de julho e agosto de 2006, ocasionados por maior ocorrência das precipitações pluviométricas na região de estudo. Em 2005 os valores foram menores, mesmo nas áreas irrigadas, provocadas pela ausência de chuvas nos meses anteriores.

O albedo variou bastante de um ano a outro, mesmo nas áreas irrigadas. Os maiores valores registrados verificaram-se nos meses de agosto e outubro de 2005.

As análises estatísticas dos parâmetros da vegetação pelo método dos mínimos quadrados mostraram resultados satisfatórios, com exceção de janeiro devido à contaminação por nuvens no horário de passagem do satélite NOAA, mascarando os resultados. Para os demais meses os valores são bem próximos, possibilitando eventualmente a utilização dos dados NOAA em lugar do LANDSAT, principalmente, em modelos numéricos de previsão de tempo em clima.

A fração vegetada aumentou consideravelmente em 2006 em quase toda região, principalmente nas áreas de vegetação mais desenvolvida.

Os valores de albedo medidos e estimados pelos dois satélites na fazenda Frutacor foram bem coerentes, embora a correlação não tenha se mostrado boa.

Finalmente, as comparações efetuadas entre parâmetros da vegetação estimados pelos os dois satélites levam à conclusão que, na ausência de dados LANDSAT, pode-se utilizar com cautela os dados do AVHRR para diferentes fins. Contudo, para uma definição de alvos mais fina é aconselhável usar satélite de maior resolução espacial (LANDSAT).

Baseado nos resultados encontrados sugere-se, a incorporação desses parâmetros da vegetação estimados a partir do AVHRR / NOAA, em modelos numéricos de previsão de tempo e clima, visando avaliar a variabilidade espacial dos fluxos da superfície em escala regional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.**

ANDRADE, E. M.; D'ALMEIDA, D. M. B. A.; MEIRELES, A. C. M.; FILHO, L. C. A. L.; ARRUDA, F. E. R. **Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, CE.** Revista Ciência Agronômica, Vol. 35, Nº. 1, jan - jun: 9-16, 2004.

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W.T. **Monitoramento da Cobertura Florestal através de Índices de Vegetação do NOAA-AVHRR.** Anais do VII SBSR, 1993.

BATISTA, G. T; ALMEIDA, S. E. **Índice de Vegetação versus precipitação na Amazônia.** IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, setembro, 1998.

BASTIAANSSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain.** Ph. D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1995.

BASTIAANSSEN, W. G. M. **SEBAL - Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey.** Journal of Hydrology, v. 229, p. 87. 100, 2000.

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEN, A. **Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance.** Remote Sensing of Environment: 79: 329-343, 2002

BRAGA, C.C; BRITO, J.I. B; SANSIGOLO, C. A e RAO, T. V. R. **Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria-RS, v.11, n.1, p.149-157, 2003.

BRAGA, C. C.; A, S. S.; DANTAS, F. R. C.; SILVA, B. B. **Relação Preliminar entre IVDN obtidos do AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT.** Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, 27 Nov a 1 Dez 2006 a.

BRAGA, C. C.; NEVES, D. G.; BRITO, J. I. **Estimativa da fração vegetação no leste da Bahia no período de 1982 a 1999.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 14, nº. 3, p.252 – 260.2006 b.

ENGESAT - Landsat 5 TM - Ficha Técnica Resumida. Disponível em: <www.engesat.com.br>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2008.

FIDELES, J.F; NÓBREGA, J.Q; RAO, T.V.R; BELTRÃO, N.E.M. **Monitoramento de área foliar e biomassa do feijociro usando índice de vegetação por diferença normalizada.** Rev. Bras. Agrometeorologia, v. 13, n.2, p.212-218, 2005.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. Disponível em: <www.funceme.br>. Acesso em 15 de Janeiro de 2008.

GUTMAN, G.; IGNATOV, A. **The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models.** International Journal. Remote Sensing. 19, no.8, 1533-1543.1998.

HA, K.; OH, H.; KIM, K. **Inter – Annual and Intra – Annual Variabilities of NDVI, LAI and T, Estimated by AVHRR in Korea.** Korea Journal of Estimated by AVHRR in Korea. Korea Journal of Remote Sensing. 2, 111-119. 2001.

HOUBORG, R.; SOEGAARD, H.; BOEGH, E. **Combining Vegetation Index and Model Inversion Methods for the Extraction of Key Vegetation Biophysical parameters using Terra and Aqua MODIS reflectance Data.** Remote Sensing of Enviroment 106, 39 – 58, 2007.

HUCEK, R.; JACOBOWITZ, H. **Impact of scene dependence on AVHRR albedo models.** *Journals of Atmospheric and Oceanic Technology*, v.12, 1995.

HUETE, A.R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment.** Vol. 25, p.295-309, 1988.

HUETE, A.R. **Development of Vegetation and Soil Indices for MODIS-EOS.** *Remote Sens. Environ.* v. 249, p. 224-234, 1994.

IZIMONS, M. G & MAYER, H. **On the variability and modeling of surface albedo and long-wave radiation components.** *Agricultural and Forest Meteorology.* 11: 141-152, 2002.

KUSTAS, W. P.; MORAN, M. S. and JACKSON, R. D.; GAY, L. W.; DUELL, L. F. W.; KUNKEL, K. E.; MATTHIAS, A. D. **Instantaneous and daily values of the surface energy balance over agricultural fields using remote sensing and a reference field in an arid environment.** *Remote sensing of Environment*, 32: 125 – 141, 1990.

LILLESAND, T.M. & KIEFER. **Remote sensing and image interpretation.** New York. 1979.

LIU, W. T.; MASSABANI, O.; FESTA, M. **Normalized difference vegetation index for the south American continent used as a climatic variability indicator.** In: *International Symposium of Remote Sensing of Environment*, 24. Rio de Janeiro, 1991. *Proceedings.* v.2 p. 725-732.

LIU, W. T. H.; MASSAMBANI, O. e NOBRE, C. **Satellite Recorded Vegetation Response to Drought in Brazil.** *International Journal of Climatology.* 14, 343-3564. 1994.

LOPES, P. M. O.; VALERIANO, D. M. **Validação do albedo da superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas.** *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto*, Florianópolis, Brasil, 21 -26 abril de 2007, INPE, p. 2805-2812.

- MARKHAM, B. L. & BARKER, J. B. **Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances**. *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.
- MATSUSHITA, B.; TAMURA, M. **Integrating Remotely Sensed Data with and Ecosystem Model Estimate Net Primary Productivity in East Asia**. *Remote Sensing of Environment*. 81, 58-66. 2002.
- MELO, M. L. D. **Efeito da vegetação em simulações numéricas com o modelo RAMS**. Campina Grande, UFCG, 2003. 115p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – UFCG/ CCT/DCA, 2003.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª Ed. atual. ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 180p. 2005.
- MORIONDO, M.; MASELLI, F.; BINDI, M. **A Simple Model of Regional Wheat yield based on NDVI Data**. *Science Direct. Europ. J. Agronomy* 26. 266-274. 2007.
- MYNENI, R. B.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. **Estimation of Global Leaf Area Index and Absorbed Par Using Radiative Transfer Models**. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 35, no. 6, 1380-1393. 1997.
- NICHOLSON, S. E; FARRAR, T. J. **The Influence of Soil Type on the Relationships between NDVI, Rainfall and Soil and Moisture in Semiarid Botswana**. *Remote Sensing Enviroment*. 50, 107-120. 1994.
- NEVES, D. G. **Variabilidade interanual do índice de vegetação no leste do Nordeste do Brasil no período de 1982-1999**. Campina Grande, UFCG, 2005. 108p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – UFCG/ CCT/DCA, 2005.
- PARKINSON, C. L. **Earth from above**. University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation. 107 – 111, 1997.
- PEREIRA, A.; FRANCA, H.; SANTOS, J. E.; SETZER, A. W. **Utilização de imagens AVHRR/NOAA para classificação da vegetação do Cerrado quanto à susceptibilidade ao fogo**. X Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota y Sistemas

de Informacion Espacial. Aplicaciones operacionales de sistemas de observación da Terra e de información espacial para usuarios e tomadores de decisión. Cochabamba, 2002.

PRATES, J. E. **Circulações termicamente forçadas em áreas cultivadas**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 31-41, 1997.

ROSENDO, R. S.; ROSA, R. **Exemplo de aplicação do Produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS/Terra**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 de abril de 2005, INPE. P. 3285-3292.

SANTOS dos, J. R., D. C. L., SHIMABUKURO, Y. E. **Análise relacional de dados AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT na avaliação do antropismo em região de contato floresta/savana**. MEMORIAS DEL 5º SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE PERCEPCION REMOTA. 1991, Cusco. Editores, SELPER. Peru.

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

SONG, J. & GAO, W. **An improved method to derive surface albedo from narrowband AVHRR satellite data: narrowband to broadband conversion**. Journal of Applied Meteorology, 38:239-249, 1999.

SPIEGEL, M. R. **Resumo de Teoria e Problemas de Estatística - Coleção Schaum**. Livro Técnico – SA. Rio de Janeiro, 1968.

SRIVASTAVA, S.K., JAYRAMAN, V., NAGESWARA RAO, P. P., MANIKIAN, B., CHANDRASEKHAR, M. G. **Interlinkages of NOAA/ AVHRR derived integrated IVDN to seasonal precipitation and transpiration in dryland tropics**. International Journal of Remote Sensing, Dundee,UK, v. 18, n. 14, p. 2931-2952, 1997.

TACHIIRIT, K **Calculating NDVI for NOAA/AVHRR data after atmospheric correction for extensive images using 6S code: A case study in the Marsabit District, Kenya**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 59. 103–114. 2005.

WANG, K.; LI, Z.; CRIBB, M. Estimation of Evaporative fraction from a combination of day and night land surface temperatures and NDVI: A new method to determine the Priestley-Taylor parameter. Remote Sensing of Enviroment. 2006.

WILKS, D. S. Statistical methods in the atmospheric sciences: and introduction. London, Academy Press. 464p. 1995.

WYDICK, J.E.; DAVIS, P.A.; GRUBER, A. Estimation of broad-band planetary albedo from operational narrowband satellite measurements. NOAA Technical report. 1987.

8. ANEXOS

ANEXO A:

Vegetação	Dia	ALBEDO		IVDN		SAVI		IAF	
		Landsat	Noaa	Landsat	Noaa	Landsat	Noaa	Landsat	Noaa
Frutifera	21/08/05	0,18	0,23	0,48	0,23	0,32	0,34	0,52	0,58
	24/10/05	0,20	0,23	0,39	0,26	0,26	0,27	0,35	0,38
	28/01/06	0,20	0,34	0,36	0,12	0,24	0,18	0,29	0,16
	23/07/06	0,16	0,16	0,58	0,43	0,37	0,63	0,66	2,57
	08/08/06	0,16	0,17	0,49	0,40	0,31	0,59	0,47	1,97
	24/08/06	0,16	0,17	0,37	0,18	0,21	0,26	0,24	0,36
Caatinga	21/08/05	0,15	0,21	0,39	0,18	0,22	0,27	0,25	0,36
	24/10/05	0,19	0,18	0,27	0,19	0,19	0,28	0,17	0,39
	28/01/06	0,18	0,40	0,29	0,05	0,18	0,08	0,15	0,00
	23/07/06	0,14	0,15	0,59	0,42	0,35	0,61	0,60	2,21
	08/08/06	0,14	0,15	0,48	0,40	0,24	0,55	0,31	1,60
	24/08/06	0,15	0,18	0,40	0,16	0,24	0,23	0,29	0,28
Mista	21/08/05	0,16	0,21	0,42	0,22	0,25	0,32	0,32	0,51
	24/10/05	0,21	0,23	0,32	0,20	0,22	0,29	0,25	0,43
	28/01/06	0,19	0,30	0,31	0,11	0,18	0,07	0,17	0,00
	23/07/06	0,15	0,15	0,58	0,42	0,35	0,62	0,59	2,29
	08/08/06	0,15	0,16	0,43	0,35	0,23	0,51	0,28	1,31
	24/08/06	0,15	0,19	0,41	0,15	0,23	0,23	0,27	0,27
ERRO MÉDIO		1,79		4,77		3,45		8,36	

Tabela 3. Valores médios de albedo, IVDN, SAVI e IAF para LANDSAT e NOAA.

ANEXO B:

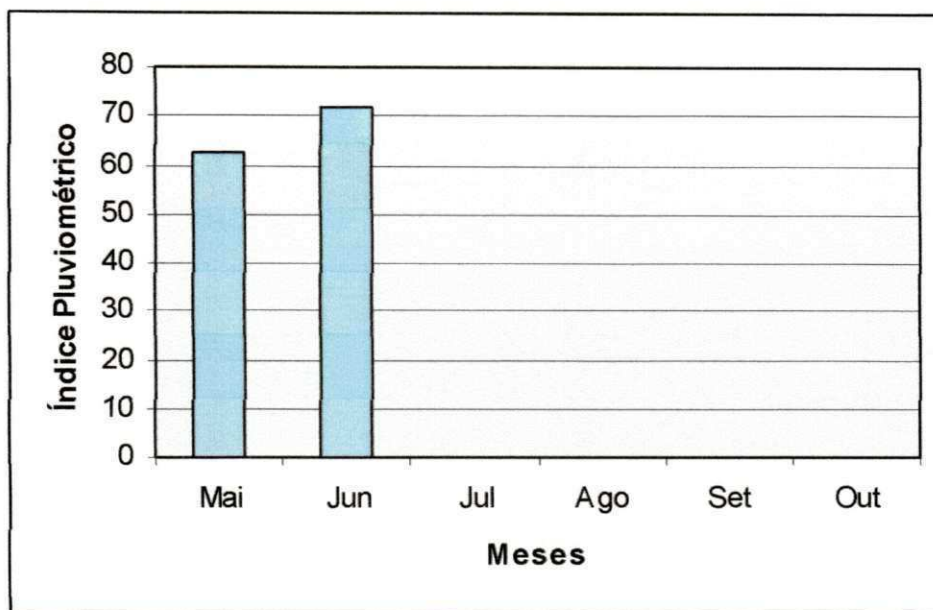


Figura 18 - Índice pluviométrico correspondendo aos meses de maio a outubro de 2005.

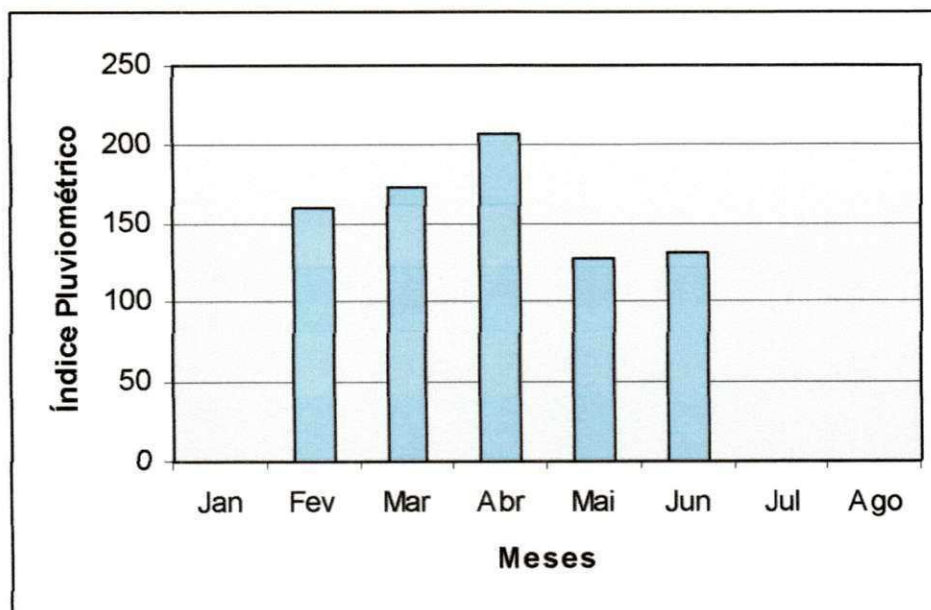


Figura 19 - Índice pluviométrico correspondendo aos meses de janeiro a agosto de 2006.