



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SIMULAÇÃO DE REGIMES MICROCLIMÁTICOS UTILIZANDO IMAGENS
DO SENSOR MODIS E DADOS METEOROLÓGICOS EM REGIÕES DE
BREJOS DE ALTITUDE OCORRENTES EM PERNAMBUCO**

JOSÉ FRANCISCO DA CRUZ NETO

RECIFE, PERNAMBUCO – BRASIL

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SIMULAÇÃO DE REGIMES MICROCLIMÁTICOS UTILIZANDO IMAGENS
DO SENSOR MODIS E DADOS METEOROLÓGICOS EM REGIÕES DE
BREJOS DE ALTITUDE OCORRENTES NO ESTADO DE PERNAMBUCO**

JOSÉ FRANCISCO DA CRUZ NETO

SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

Dr. PABRICÍO MARCOS OLIVEIRA LOPES

CO – ORIENTAÇÃO

MAGNA SOELMA BESERRA DE MOURA

Dissertação apresentada à
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte das
exigências do Programa de Pós
Graduação em Engenharia
Agrícola, para obtenção do título
de **MESTRE**.

RECIFE

PERNAMBUCO – BRASIL

2016

Ficha Catalográfica

C957s Cruz Neto, José Francisco da

Simulação de regimes microclimáticos utilizando imagens do sensor MODIS e dados meteorológicos em regiões de brejos de altitude ocorrentes em Pernambuco / José Francisco da Cruz Neto. – 2016.

75 f. : il.

Orientador: Pabricío Marcos de Oliveira Lopes.

Coorientadora: Magna Soelma Beserra de Moura.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2016.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Agrometeorologia 2. Sensoriamento remoto 3. MTCLIM
I. Lopes, Pabricío Marcos de Oliveira, orient. II. Moura, Magna Soelma Beserra de, coorient. III. Título

CDD 631

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

JOSÉ FRANCISCO DA CRUZ NETO

**SIMULAÇÃO DE REGIMES MICROCLIMÁTICOS UTILIZANDO IMAGENS
DO SENSOR MODIS E DADOS METEOROLÓGICOS EM REGIÕES DE
BREJOS DE ALTITUDE OCORRENTES NO ESTADO DE PERNAMBUCO**

DISSERTAÇÃO DEFENDIDA E APROVADA EM 25 DE JULHO DE 2016.

ORIENTADOR:

**PROF. PABRICÍO MARCOS DE OLIVEIRA LOPES, DR.SC.
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
(UFRPE)**

EXAMINADORES:

**PROF. RANYÉRE SILVA NÓBREGA, DR.SC.
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)**

**PROF. GEBER BARBOSA DE ALBUQUERQUE MOURA, DR.SC.
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)**

**PROF. ÊNIO FARIAS FRANÇA E SILVA, DR.SC.
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)**

Dedicatória

Ao grande DEUS, todo poderoso, por ter me concedido esse momento de glória e imensa alegria, pois nos momentos de fraqueza foi a ti que depusitei toda minha fé e orações. Agradeço, pois sei que sem suas bênçãos não conseguiria chegar até aqui.

Aos meus pais Romildo Francisco da Cruz e Maria José de Araújo Cruz, por todos os ensinamentos e, exemplos por eles repassados.

Aos meus irmãos Fafá, Júnior e Lô por todo apoio nos momentos de decisões e pelas orações a mim dedicadas.

A minha filha Maria Eduarda, um anjo que Deus colocou em minha vida.

Ao meu sobrinho Edson Neto, outra benção em minha vida.

A minha Tia Fia e Tio Nino, que sempre serão para mim segundos pais. A meus avôs Genésia, Zezinho, Euclides, Maria e meu padrinho Armando (in memoriam).

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Fabrício Marcos Oliveira Lopes aqui deixo os meus sinceros agradecimentos, pelo auxílio, discussões, sugestões e conhecimentos compartilhados na orientação desta dissertação e a todos os funcionários que fazem parte do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola UFRPE.

A minha companheira Maria Dayana por todo o apoio.

Aos meus colegas e amigos, de Pós Graduação: José Eduardo, Eulâmpio, Renato, Diego Sousa, Diego Oliveira, Fabio, Francisco, John Lenno, Hosana, Rafaela, Raguiera, Jairo, Sávio, José Edson, Ailton, Luiz, Sisgo, Carlos, Péricles e a todos que de certa forma colaboraram com esse trabalho.

Aos amigos da casa de estudante 2 UFRPE pelo apoio.

Aos meus amigos Maércio, Diego, Hugo, Fernando, Isabel, Vera, Fernando Severino, Rodolfo, Jailson, Dona Antonieta (*in memória*) pelo apoio, meu muito obrigado.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, pela bolsa concedida.

E a todos que de certa forma contribuíram com esse trabalho, meus agradecimentos.

Pensamento

“O desejo sincero e profundo do coração é sempre realizado.

Em minha própria vida tenho verificado a certeza disto.”

Mahatma Gandhi

Sumário

INTRODUÇÃO.....	17
HIPÓTESES	19
OBJETIVOS.....	20
Geral.....	20
Específicos	20
REVISÃO DE LITERATURA	21
Brejos de Altitudes.....	21
Dados Climáticos	22
Modelo MTCLIM	24
Modelo de elevação digital	26
Sensor MODIS.....	27
Produtos do Sensor MODIS	29
MATERIAL E MÉTODOS.....	30
Caracterização da Área	30
Dados meteorológicos para validação do modelo MTCLIM	34
Aplicação do modelo MTCLIM	36
Estimativas de variáveis meteorológicas para a Serra do Arapuá	38

Validação do modelo MTCLIM	39
Espacialização de variáveis meteorológicas para região da Serra do Arapuí	41
Processamento dos Produtos MODIS	41
RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
Regimes de temperatura máxima do ar.....	47
Regimes de temperatura mínima do ar	54
Regimes mensais de temperatura média do ar.....	62
Regimes mensais de radiação solar global	70
Cartas temáticas de albedo da superfície	78
Cartas de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	86
Cartas de fração de solo coberto por vegetação (FC)	93
Cartas de índice de área foliar (IAF).....	99
Conclusões.....	105
Referências Bibliográficas.....	106

Lista de Figuras

Figura 1. Principais brejos de altitude no Nordeste brasileiro. (Fonte: Vasconcelos Sobrinho, 1971).	22
Figura 2. Localização da Serra do Arapuá (SA) no município de Carnaubeira da Penha, PE.	31
Figura 3. Caracterização do conjunto de montanhas da Serra do Arapuá, Carnaubeira da Penha - PE.	32
Figura 4. Médias climatológicas de 1961 a 1990 do município de Carnaubeira da Penha – PE em função do número de meses, onde Tmax = temperatura máxima, Tmin = temperatura mínima e Tmed = temperatura média do ar. Fonte: http://jornaldotempo.uol.com.br/climatologia	33
Figura 5. Localização das estações meteorológicas automáticas que serão utilizadas no estudo. Fonte: Google Earth.	35
Figura 6. Esquema de funcionamento do modelo MTCLIM, adaptado de Hungerford (1989).	36
Figura 7. Determinação dos ângulos de visão a Leste e Oeste do local de estudo (°). ..	37
Figura 8. Cartas temáticas das temperaturas máximas do ar (°C) de janeiro a junho de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	49
Figura 9. Cartas temáticas das temperaturas máximas do ar (°C) de julho a dezembro de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	50
Figura 10. Cartas temáticas das temperaturas máximas do ar (°C) de janeiro a junho de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	52

Figura 11. Cartas temáticas das temperaturas máximas do ar (°C) de julho a dezembro de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	53
Figura 12. Cartas temáticas das temperaturas mínimas do ar (°C) de janeiro a junho de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha – PE.	56
Figura 13. Cartas temáticas das temperaturas mínimas do ar (°C) de julho a dezembro de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	57
Figura 14. Cartas temáticas das temperaturas mínimas do ar (°C) de janeiro a junho de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	60
Figura 15. Cartas temáticas das temperaturas mínimas do ar (°C) de julho a dezembro de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	61
Figura 16. Cartas temáticas das temperaturas médias do ar (°C) de janeiro a junho de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	64
Figura 17. Cartas temáticas das temperaturas médias do ar (°C) de julho a dezembro de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	65
Figura 18. Cartas temáticas das temperaturas médias do ar (°C) de janeiro a junho de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	68
Figura 19. Cartas temáticas das temperaturas médias do ar (°C) de julho a dezembro de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	69
Figura 20. Cartas temáticas das radiação solar global (W.m-2) de janeiro a junho de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	72

Figura 21. Cartas temáticas das radiações solares globais (W.m-2) de julho a dezembro de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.	73
Figura 22. Cartas temáticas das radiações solares globais (W.m-2) de janeiro a junho de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha – PE.	76
Figura 23. Cartas temáticas das radiações solares globais (W.m-2) de julho a dezembro de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha – PE.....	77
Figura 24. Cartas de albedo de superfície utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	80
Figura 25. Cartas de albedo de superfície utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	81
Figura 26. Cartas de albedo de superfície utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	84
Figura 27. Cartas de albedo de superfície utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	85
Figura 28. Cartas de NDVI utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.	88
Figura 29. Cartas de NDVI utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.	89
Figura 30. Cartas de NDVI utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.	91

Figura 31. Cartas de NDVI utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.	92
Figura 32. Cartas de Fração de solo coberta (FC) por vegetação utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006, no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	94
Figura 33. Cartas de Fração de solo coberta por vegetação (FC) utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006, no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	95
Figura 34. Cartas de Fração de solo coberta por vegetação utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012, no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	97
Figura 35. Cartas de fração de solo coberta por vegetação utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012, no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	98
Figura 36. Cartas de índice de área foliar utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	100
Figura 37. Cartas de índice de área foliar utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	101
Figura 38. Cartas de índice de área foliar utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	103
Figura 39. Cartas de índice de área foliar utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.....	104

Lista de Tabelas

Tabela 1. Características gerais do sensor MODIS abordo dos satélites Terra e Aqua.	28
Tabela 2. Precipitação pluviométrica mensal (mm) da estação meteorológica automática do INMET no município de Floresta – PE para os anos estudados na pesquisa.	34
Tabela 3. Direção predominante do vento (velocidade do vento, m.s-1) da estação meteorológica automática do CPTEC no município de Floresta – PE (8,6°S; 38,576°W) para os anos estudados na pesquisa.	34
Tabela 4. Critério de interpretação do desempenho, proposto por Camargo & Sentelhas (1997) através do índice (c).	40
Tabela 5. Resultado da calibração do modelo MTCLIM para os municípios de Triunfo e Cabrobó.	45

RESUMO

O semiárido nordestino especificamente nos estados de Pernambuco e Paraíba são encontrados os Brejos de altitudes ou Matas Serranas. Nesses locais, a exploração dos recursos naturais ocorre gradativamente todos os anos porque apresenta clima mais ameno e maior disponibilidade hídrica para os setores da agropecuária. Os estudos relacionados às condições microclimáticas de florestas serranas são fundamentais para o desenvolvimento social e agrícola, tendo em vista o clima como fator mais importante para o surgimento ou desaparecimento de diferentes espécies vegetais ou animais, bem como o modo de vida de sua população. Utilizou-se nesta pesquisa o modelo MTCLIM para estimar radiação solar global, temperatura do ar (média, mínima e máxima) e déficit de pressão de vapor, objetivando-se identificar e analisar a dinâmica espaço-temporal dos elementos meteorológicos, e também parâmetros biofísicos usados na detecção de alterações ambientais obtidos por técnicas de sensoriamento remoto para a Serra do Arapuá, município de Carnaubeira da Penha - PE. Utilizou-se imagens de dezesseis dias do sensor MODIS: índice de vegetação NDVI e albedo da superfície disponíveis em 2006 e 2012. Imagens de NDVI foram utilizadas para estimar índice de área foliar e fração de solo coberto por vegetação. Utilizou-se também dados meteorológicos de superfície: temperaturas média, mínima e máxima do ar (T_{med} , T_{min} , T_{max} , °C), precipitação (P , mm), radiação solar global (R_g , $W\ m^{-2}$), obtidos em três estações meteorológicas automáticas situadas próximas da área de estudo pertencente ao INMET e ao CPTEC. As cartas temáticas mensais dos elementos meteorológicos: T_{max} , T_{med} , T_{min} e R_g foram processadas pelo software Demo Surfer 10, enquanto que o albedo, índices de vegetação (NDVI), FC e IAF foram processadas a partir do software SPRING. Realizou-se os processos de calibração do modelo MTCLIM para as estações meteorológicas automáticas de Cabrobó e Triunfo. Os dados estimados foram correlacionados com os medidos de T_{max} , T_{med} , T_{min} , R_g e DPV usando a análise de regressão, considerando o Erro médio (EM), Erro médio absoluto (EMA) e Índice de correlação de WILLMOTT. A validação do modelo MTCLIM mostrou bons resultados para ambos os município de Cabrobó quanto para Triunfo, foram verificados também valores elevados de correlação (r) e de índice de determinação (d). O efeito da topografia é muito importante para a modelagem da T_{med} , T_{min} , T_{max} e R_g em todos os cenários, mostrando que a serra do Arapuá tem grande influência na distribuição espacial destes elementos meteorológicos. Conclui-se que o principal condicionante para a variação das condições de vegetação nessa região foi à precipitação, que apresentou seus maiores valores no ano de 2006.

Palavras chaves: MTCLIM, Sensoriamento Remoto, Agrometeorologia e Modelagem.

ABSTRACT

The semi-arid northeast Brazil specifically in the states of Pernambuco and Paraíba are the Mountain forests. In these locations, the exploitation of natural resources occurs gradually every years, because of the milder climate and greater water availability for the agricultural and livestock sectors. Studies related to the microclimatic conditions of mountain forests are fundamental for social and agricultural development, considering the climate as the most important factor for the emergence or disappearance of different plant or animal species, as well as the way of life of its population. The MTCLIM model was used in this research to estimate the global solar radiation, the air temperature (mean, minimum and maximum) and the vapor pressure deficit, with the objective to identify and analyze the spatialtemporal dynamics of meteorological elements as well as biophysical parameters to detect environmental changes through remote sensing techniques on satellite images for the Arapuá mountain, city of Carnaubeira da Penha-PE. Using sixteen days images MODIS: index of vegetation NDVI and superfice albedo available in 2006 and 2012. The NDVI were used in estimation Leaf Area Index (IAF) and Fraction of soil covered by vegetation (FC). It was used too surface data: average, minimum and maximum air temperatures ($^{\circ}\text{C}$), precipitation (mm), the global solar radiation (W m^{-2}) obtained in three automatic weather stations located in next study area belonging to the INMET and CPTEC. The thematic maps of meteorological elements: Tmax, Tmed, Tmin and Rg were processed by Demo Surfer 10.0 software while albedo, NDVI, FC and IAF were processed from SPRING software, version 5.1. It was accomplished the MTCLIM model calibration process to the automatic meteorological stations of the cities of Cabrobó and Triunfo. The estimated data were correlated with the observed Tmax, Tmed, Tmin, Rg and DPV using the regression analysis, considering Mean Error (EM), Mean Absolute Error (EMA) and WILLMOTT Correlation Index. The validation from MTCLIM model showed good results for the cities of Cabrobó and Triunfo with high values of correlation (r) and determination index (d) for Tmed, Tmin, Tmax e Rg except for the vapor pressure deficit. The topography effect is very important for the modeling of Tmed, Tmin, Tmax and Rg in all scenarios, showing that the Arapuá mountain has a great influence on the spatial distribution of these meteorological elements. It follows that the main condition for the variation of vegetation conditions in this region was precipitation, which presented its highest values in the year of 2006.

Key words: MTCLIM, Remote Sensing, Agrometeorology and MODIS.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a agricultura tem se expandido ao longo de todo o território nacional, esse fator se dá por diversos motivos, entre eles estão os avanços das tecnologias e dos estudos que melhoram os sistemas de produção. Com isso as regiões que apresentam melhores condições, tanto de clima quanto de solo, são as mais exploradas, além do grande avanço na tecnologia, trazendo mais informações e ferramentas, que aumenta as produtividades e as áreas exploradas. Neste contexto, encontram-se os “Brejos de Altitudes” ou Matas Serranas localizadas especificamente no semiárido pernambucano e paraibano. Nesses locais a exploração dos recursos naturais vem ocorrendo gradativamente ao longo dos anos, por apresentar características desejáveis por muitos setores da agropecuária, entre elas o clima mais ameno e maior disponibilidade hídrica. Todas essas características atraem pecuaristas e agricultores para uso e ocupação dessas áreas para a produção de alimentos de forma geral, bem como a extração de madeira como forma de combustível para as calcinadoras de gesso, com isso trazendo problemas para essas regiões com o uso de seus recursos muitas vezes de forma incorreta.

Desse modo, estudar as condições microclimáticas dos brejos de altitude e as mudanças ocasionadas pelo uso dos recursos naturais é extremamente importante, porém torna-se muito oneroso e difícil por não apresentar um banco de dados climáticos contínuos ao longo dos anos. Isso se dá, principalmente, porque as estações meteorológicas automáticas têm custo e manutenção elevados, e também a dificuldade em instalar as plataformas em locais de difícil acesso devido à orografia acentuada dos brejos de altitude. Com isso, o uso de modelos de simulação de dados meteorológicos se

faz necessário, uma vez que, as estimativas dessas variáveis podem ser feitas de forma fácil e precisa.

O modelo MTCLIM (Modelo de Simulação de Microclima Montanhoso) foi desenvolvido para estimativa de variáveis meteorológicas de ambientes montanhosos, e vem sendo utilizado por diversos autores para estudo de regiões de topografia acentuada, que apresentam falta de dados ou falha na série temporal existente. As variáveis obtidas por esse modelo através de suas equações são: precipitação, radiação solar global, déficit de pressão de vapor d'água e temperatura do ar. Além desse modelo de estimativa, produtos de satélites (índice de vegetação, albedo, elevação, etc) podem ser inseridos para se obter maiores informações dos brejos de altitude. As saídas do modelo MTCLIM associadas aos produtos derivados de imagens de satélite podem ajudar a compreender melhor as mudanças ocorridas com a antropização do homem nessas áreas, bem como mostrar a variação dos elementos meteorológicos ao longo do espaço e do tempo.

O município de Carnaubeira da Penha fica localizado no semiárido brasileiro mais precisamente no sertão do estado de Pernambuco, abrangendo o brejo de altitude da Serra do Arapúá que, mesmo sendo uma reserva ecológica, trata-se de uma região onde se predomina o extrativismo vegetal, a criação de caprinos e de ovinos, e a agricultura que de toda forma, ainda, ocorre de forma familiar, contudo a base alimentar desse Município é produzida principalmente por esses agricultores.

Porém, pouco se conhece ou até mesmo se sabe de fato, como se comporta o clima e a variação da vegetação nessa localidade, ou seja, tudo que se faz ou se produz, é com base em conhecimentos antrópicos, que muitas vezes não traz bons rendimentos

ou até mesmo lucro para essa comunidade, que vive principalmente da agricultura. Os trabalhos relacionados ao clima e a vegetação dessa localidade vem a acrescentar e a melhorar a vida dessas pessoas, uma vez que, com os avanços tecnológicos na área de meio ambiente e agricultura, todos devem ter acesso a essas informações que somam na vida de cada uma, principalmente quando o aspecto é conhecimento.

Diante disso, quantificar e mapear os regimes climáticos dessas regiões, ao longo do tempo e do espaço geográfico, é imprescindível para verificar padrões de mudanças do uso da terra e auxiliar na elaboração de um cenário de referência para projetos de sustentabilidade ambiental.

HIPÓTESES

O modelo MTCLIM apresenta grande potencial para a estimativa de dados microclimáticos, onde se torna inerente o uso de estações meteorológicas automáticas, e tornando sua aplicação, principalmente, para regiões de topografia acidentada.

Os produtos obtidos pelo sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) são aplicados em estudos de uso e ocupação do terreno quanto à vegetação e ao albedo, sendo ainda mais eficiente, quando integrados a outras ferramentas, para auxiliar na produção de informações do ambiente serrano, melhorando assim seus resultados.

As regiões de brejos de altitude são pouco estudadas em termos de variação espaço - temporal, quando relacionadas à vegetação e suas condições microclimáticas, sendo necessária a elaboração de trabalhos referentes a essas variáveis.

OBJETIVOS

Geral

- ✓ Identificar e analisar a dinâmica espaço-temporal dos elementos meteorológicos estimados pelo modelo MTCLIM e também, dos parâmetros biofísicos na detecção de alterações ambientais, obtidos por técnicas de sensoriamento remoto para a Serra do Arapuá, município de Carnaubeira da Penha-PE.

Específicos

- ✓ Validar e avaliar a radiação solar global, a temperatura e o déficit de pressão de vapor d'água estimados usando modelo MTCLIM para os locais das estações meteorológicas automáticas de Cabrobó - PE e de Triunfo - PE.
- ✓ Estimar e espacializar os elementos meteorológicos sobre o brejo de altitude da Serra do Arapuá, pertence ao município de Carnaubeira da Penha - PE, usando dados da estação meteorológica automática de Floresta - PE.
- ✓ Avaliar as cartas mensais dos elementos meteorológicos, índice de vegetação, albedo da superfície, fração de solo coberto por vegetação e índice de área foliar obtidas do sensor MODIS para identificar padrões microclimáticos ao longo dos anos 2006 e 2012.
- ✓ Aferir sobre a influência da altitude, precipitação pluvial e velocidade e direção do vento sobre as variáveis meteorológicas e biofísicas espacializadas na área de estudo.

REVISÃO DE LITERATURA

Brejos de Altitudes

Os brejos de altitude são ilhas de floresta úmida em plena região semiárida cercadas por vegetação de caatinga, tendo uma condição climática bastante atípica com relação à umidade, temperatura e vegetação, e com pouco conhecimento sobre sua vegetação e ecologia (PORTO et al., 2004). Esses brejos estão presentes nas regiões do agreste e sertão do estado de Pernambuco, um dos fatores que mais influencia essas zonas de mata atlântica no semiárido brasileiro é o relevo que ao longo do Estado é muito variável em termos de altitude.

Sendo assim, o relevo funciona como uma barreira que impede o avanço das massas úmidas de ar, que seguem em direção ao continente, estas que devido a grande quantidade de vapor d'água alcançam maiores altitudes, resfriando-se e propiciando a formação de nevoeiros e chuvas (LINS, 1989). A mesma ressalta, que a zona de associações vegetais que existe nas vertentes a barlavento, constituindo-se em verdadeiras faixas de vegetação que se sucedem e conseqüentemente ganha características mais úmidas, variando entre florestas caducifólias ou subcaducifólias, até matas subperenes com espécies perenifólias. A caracterização ecológica do agreste pernambucano proposta por Andrade e Lima (2014) definiu os brejos de altitude ou matas serranas como frações da floresta tropical perenifólia, dentro da zona da caatinga. Localizando-se, via de regra, nos níveis superiores das serras, graníticas ou cretáceas, com altitudes superiores a 500 m e progressivamente maiores, no sentido geral SE-NW, até os 1.000 m.

No Nordeste brasileiro, os brejos de altitude são encontrados nos estados do Ceará, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte como podem ser observados na Figura 1.

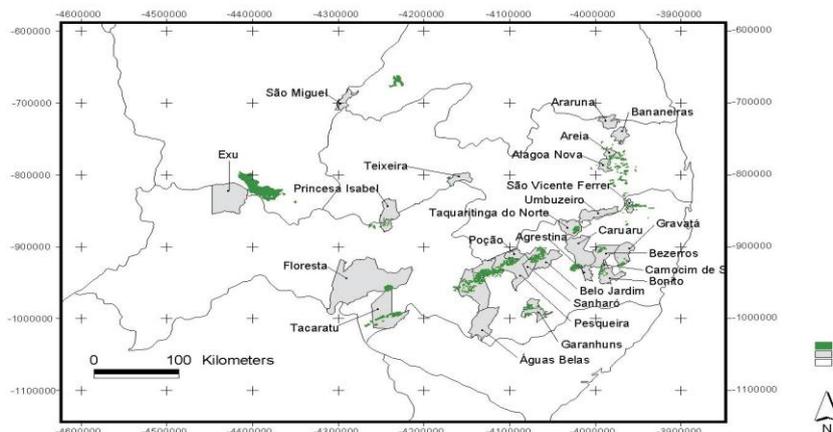


Figura 1. Principais brejos de altitude no Nordeste brasileiro. (Fonte: Vasconcelos Sobrinho, 1971).

Em trabalho realizado pela EMBRAPA, Araújo Filho et al. (2000) descreveram os brejos de altitude de Pernambuco como regiões úmidas e isoladas dentro de áreas secas, posicionadas a barlavento com desnível relativo médio de 200 m ou mais. Segundo estes autores, no estado de Pernambuco, estas regiões situam-se entre os 700 e 1.200 m de altitude, com predominância de florestas subperenifólias, subcaducifólias e caducifólias em seus topos. Neste cenário, no estado de Pernambuco foram identificados 23 brejos de altitudes, abrangendo uma área florestal de 4.850,0 km², integrando 20 municípios entre eles estão Floresta, Ibimirim, Triunfo, Belém do São Francisco e Buíque (VASCONCELOS SOBRINHO, 1971).

Dados Climáticos

Os estudos relacionados às condições climáticas de uma determinada região são de importância fundamental para o desenvolvimento social e agrícola desta localidade,

tendo em vista que o clima é o fator primordial para o surgimento ou desaparecimento de várias espécies vegetais, animais, bem como o modo de viver de uma população. Mendonça (2006) afirma que as mudanças climáticas globais e sua manifestação mais preocupante, a intensificação do aquecimento da baixa atmosfera do planeta, apontam tanto para alterações negativas quanto positivas das paisagens e das condições de vida dos homens na superfície do planeta, ressaltando, assim, a importância de se estudar as mudanças do clima de uma região.

Um problema enfrentado nesses tipos de estudo é a obtenção de variáveis relacionados ao clima tais como: radiação solar global, umidade do ar, precipitação, temperaturas do ar máxima e mínima. Esse fato ocorre principalmente pela falta de estações meteorológicas automáticas ou convencionais, além da falha encontrada nos bancos de dados disponíveis. Dessa forma, o uso de modelos matemáticos de estimativa desses elementos meteorológicos se faz necessário para que se possa ter uma idéia do comportamento e da variação dessas variáveis em uma região ao longo do tempo. Estudos mostram a importância desses dados para o manejo de irrigação e evapotranspiração de culturas agrícolas (SOUZA, 2010; ARAÚJO PRIMO 2013; ANDRADE JUNIOR et al., 2002). Outros trabalhos que mostrando a importância desses dados para o manejo de bacias hidrográficas, também foram realizados por (ELESBON et al., 2014; ELESBON et al., 2011). Esses elementos meteorológicos também são os mais analisados para verificar o efeito das mudanças climáticas, mostrando seus efeitos diretos e indiretos na vida do planeta (MENDONÇA, 2006; SILVA et al., 2011). Com isso fica claro a importância dessas variáveis para o estudo do comportamento do clima no globo, principalmente em regiões como o semiárido brasileiro que sofre com escassez de água.

Mesmo com a falta de dados meteorológicos e falha nos bancos de dados encontrados, alguns pesquisadores vêm desenvolvendo estudos para que estes dados possam ser obtidos por meio de modelos matemáticos. São muitos os estudos relacionados ao uso de modelos para estimativas dessas variáveis, (LOPES et al., 2013; SANTOS et al., 2010; CAVALCANTE et al., 2006), mostrando em seus trabalhos, que o uso de modelos para estimativa dessas variáveis é uma boa alternativa para se conhecer melhor o comportamento climático de uma região, tendo em vista a falta de dados e a dificuldade de se ter estações meteorológicas instaladas em algumas localidades.

Em área de brejos de altitude, a instalação de estações meteorológicas automáticas no topo e nas escarpas das serras para o monitoramento e a previsão do estado do tempo e do clima, tornam-se imperativos, por apresentar muitas vezes difícil acesso. Os bancos de dados climáticos baseados em postos meteorológicos são normalmente insuficientes para representar, em escalas finas (decamétricas e quilométricas), a variabilidade climática em regiões com várias formas de relevo e também das diferentes aplicações dadas ao manejo e uso da terra. Este problema de exatidão de representação é mais perceptível em regiões montanhosas ou serranas onde a variabilidade ambiental é acentuada e a rede de estações meteorológicas é escassa.

Modelo MTCLIM

Ao longo dos anos podemos observar através de diversos estudos, as constantes mudanças do clima do planeta, mudanças estas impostas principalmente pelo sistema dinâmico da atmosfera, trazendo preocupações aos seres humanos, por afetar diversas atividades em todos os âmbitos da sociedade, principalmente porque estudos revelam que a temperatura do globo levou 10 mil anos para aumentar em 5°C, mais com as

mudanças que vêm ocorrendo nos últimos séculos, esse processo pode levar apenas 200 anos (INPE, 2015), são por esses e outros motivos que os cientistas vêm intensificando os estudos nesse âmbito. Estudos relacionados a essas mudanças vêm sendo cada vez mais desenvolvidos para que se possa ter uma melhor idéia do que ocorre atualmente na atmosfera terrestre, mas em escala global ou regional. Quando o domínio espacial é pequeno (bacia hidrográfica) os estudos esbarram em falta de dados, a longo prazo, para que se possam obter resultados mais concisos sobre estes aspectos.

Quando se trata de modelos matemáticos para estimativa de dados meteorológicos em regiões de topografia acentuada o mais conhecido é o MTCLIM (Mountain Microclimate Simulation Model). Esse modelo consiste na utilização de uma estação base e da extrapolação de seus dados (temperatura máxima diária, temperatura mínima diária e precipitação), para um local de interesse sobre a região montanhosa, podendo a estação base e o local em estudo estarem em diferentes altitudes, declividades e aspectos. O MTCLIM é composto por dois domínios climatológicos: a climatologia topográfico, que extrapola as condições meteorológicas para o local de estudo; e a climatologia diurna, que extrapola variáveis meteorológicas adicionais aos dados de entrada (SOUZA, 2010).

As informações obtidas por meio desse modelo podem ser espacializadas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para mostrar a variabilidade dos regimes microclimáticos em áreas de Brejos de Altitudes. As cartas de radiação solar global, temperatura e umidade do ar podem ser comparadas com índices de vegetação obtidos por sensores remotos a bordo de satélites em escalas diária ou a cada 16 dias. Estudos já mostram que o modelo MTCLIM se comporta muito bem para estimativa de diversas variáveis meteorológicas em regiões montanhosas. Lopes *et al.* (2013) verificaram em

um estudo realizado para a Serra da Mantiqueira, uma correlação para os valores de temperaturas $R^2 > 80\%$, isso mostra a boa capacidade no modelo em simular variáveis meteorológicas.

Modelo de elevação digital

A determinação da altitude é um problema clássico que remonta aos princípios da geodésia, e por ser o seu conhecimento de fundamental importância no desenvolvimento da sociedade moderna, principalmente no que se refere a obras de engenharia, vem sendo tema para a realização de diversos trabalhos que buscam otimizar os processos para sua obtenção (LEMOS et al., 2004).

Com isso a falta de dados de elevação em escala regional fez com que o modelo de elevação digital, obtido pela Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), tornou-se uma dos produtos mais utilizados na modelagem de elementos meteorológicos em terrenos acidentados. Esse modelo foi desenvolvido a partir da colaboração da NASA (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço), considerado um grande avanço no estudo da topografia do globo terrestre. O projeto consistia na coleta de dados de interferometria de radar, visando à aquisição de modelos topográficos em detalhes para latitudes entre 56° e 60° norte e sul. Para o refinamento e validação dos dados, esse processo também contou com o auxílio de dados topográficos, tendo uma maior legitimidade nos dados obtidos.

A resolução espacial de 90 m pode ser considerada apropriada quando a análise é feita em escala regional (Ex:1:100.000) ou menor se for o caso, mais é demasiadamente grosseira para estudos em escala de detalhes, problemas como ruídos também podem ser encontrados. Vale salientar que a metodologia empregada para o processamento dos

modelos de elevações digitais de 90 m é importante, uma vez que, eles são reamostrados a partir dos modelos 30 m.

Um estudo relacionado à morfometria de pequenas bacias de drenagem na Amazônia realizado por (Valeriano et al., 2004), propuseram uma metodologia de reamostragem dos modelos SRTM baseando-se no método de interpolação por krigagem ordinária. Esses autores evidenciaram que, a reamostragem dos dados de três segundos de arco para um segundo de arco se mostrou bastante eficaz, tanto em termos de análise e identificação visual das características do relevo, quanto na extração de parâmetros morfométricos, tais como declividade, orientação de vertentes e canais de drenagem.

Com a produção desse modelo, criou-se uma grande possibilidade de melhorar a estimativa de variáveis meteorológicas e biofísicas em terrenos acidentados para auxiliar nos estudos da engenharia, bem como na área de recursos naturais.

Sensor MODIS

Com o passar dos anos aumenta a curiosidade dos pesquisadores em entender e estudar os reais motivos das mudanças climáticas, bem como seus efeitos no planeta Terra foram crescendo e, segundo Latorre *et al.* (2003) este interesse foi gerado, em parte, devido às evidências de que estas alterações estivessem sendo aceleradas pela intervenção humana, acarretando com isto, no aquecimento global, aumento no nível médio dos oceanos, redução da biodiversidade, entre outros. Com isso muitos foram os projetos desenvolvidos para estudar essas mudanças. Entre eles destacam-se o programa de longa duração para observação da superfície terrestre ESE (“EARTH SCIENCE

ENTERPRISES”) que tem como principal objetivo determinar como o planeta Terra está mudando e as consequências que isso vai trazer para a vida terrestre.

Os dois primeiros satélites enviados para o espaço foram o Terra e o Aqua a partir do ano de 1999 e começou a funcionar com a captura de imagens do Terra no mês de fevereiro de 2000. Esses satélites têm como principal instrumento o sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), cujas características gerais estão mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Características gerais do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua.

Órbita do satélite Terra	Sol síncrona, quase-polar, descendente (Terra), Ascendente(Aqua), circular, cruza o equador às 10h30min (Terra) 13h 30min (Aqua) horários locais
Altitude	705 km
Largura faixa	2230 km (across track) e 10 km (along track e em nadir)
Bandas espectrais	36 bandas entre 0,405 e 14,385 μm
Resolução Radiométrica	12 bits
Resolução espacial a Nadir	250m (bandas 1-2), 500m (bandas 3-7) e 1 km (bandas 8-36)
Período de revisita	1-2 dias
Fonte: Adaptada Justice et al., (2002)	

O sensor MODIS apresenta diversas funções, entre elas podemos citar: uma ampla cobertura espectral; continuidade nas tomadas de medidas, em regiões espectrais mais finas, que as disponíveis em outros sistemas sensores até o momento, vindo a complementar estas informações. Como exemplo, o conjunto de dados adquiridos pelo Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), usado para a meteorologia e monitoramento da temperatura da superfície do mar, gelo e vegetação; e pelo *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS), usado para monitorar a biomassa oceânica e os seus padrões de circulação.

Algoritmos específicos aplicados nas imagens do sensor MODIS produzem albedo da superfície e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, sigla em inglês), com ampla cobertura espacial (250, 500 e 1000 m), espectral (36 bandas) e temporal (diárias, quinzenais ou mensais), ideais para estudo de monitoramento do uso e cobertura do solo (ANDERSON et al., 2003). Além disso, os produtos NDVI e albedo do sensor MODIS são distribuídos gratuitamente e corrigido dos efeitos de atenuação atmosférica e geométrica.

Produtos do Sensor MODIS

Quanto aos produtos MODIS pode-se citar o MOD13Q1 (NDVI) e MOD43A3 (Albedo da superfície). O produto MOD43Q1 é utilizado para avaliar a variação espacial e temporal da vegetação, usando para isso as bandas de reflectância nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo, centradas em 469 e 858 nm, respectivamente, para determinar o NDVI com resolução espacial de 250 m em composição de 16 dias.

O produto MOD43A3 por sua vez mostra a capacidade de uma superfície refletir a radiação incidente sobre si, contendo dados de 16 dias com resolução espacial de 500 m. Os dados dos satélites Terra e Aqua são usados para descrever tanto a reflectância hemisférica direcional (albedo Black-Sky, componente direta, albedo de céu escuro) como a reflectância bi-hemisférica (albedo White-Sky, componente difusa, albedo de céu claro) em todo o espectro da radiação solar. O MOD43A3 foi produzido considerando o ângulo zenital médio ao meio dia solar.

Contudo a avaliação conjunta de imagens NDVI e albedo com cartas de regimes microclimáticos são importantes para monitorar o desenvolvimento fenológico da

vegetação, delimitar áreas em processos de desertificação, contribuindo no entendimento da modificação dos ecossistemas terrestres.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área

A Serra do Arapuá está localizada no município de Carnaubeira da Penha, sertão do semiárido pernambucano, na mesorregião do São Francisco, pertencendo a microrregião de Itaparica, distante da Capital aproximadamente a 500 km (Figura 2). A Serra do Arapuá apresenta uma vegetação variada de acordo com a altitude. Nas áreas baixas, denominadas pela população local como “sertão”, predominam os cactos, as bromeliáceas, os pequenos arbustos e as poucas árvores. São áreas de pasto e alguns açudes privados. Nas áreas de maior altitude (a serra propriamente dita), como, por exemplo, nas aldeias Enjeitado (890m), Lagoa (860m) e Cacaria (814m), a caatinga convive com árvores e plantas frutíferas como a pinha, manga, mamão, banana, acerola etc. Os catolezeiros predominam nessa região chamada de agreste e que visualmente se diferencia também pelo verde (MENDONÇA, 2015).

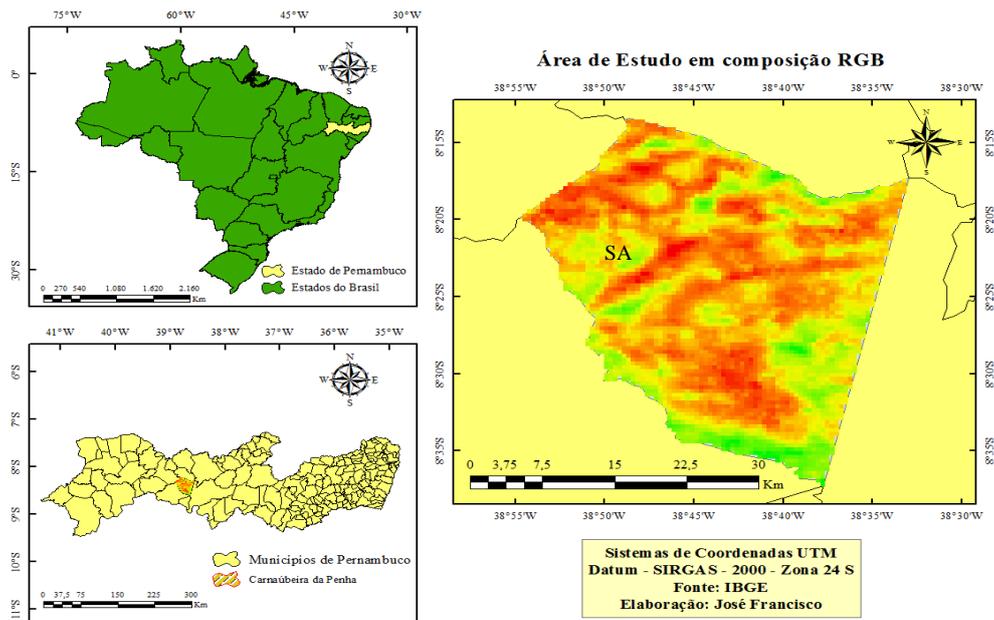


Figura 2. Localização da Serra do Arapua (SA) no município de Carnaubeira da Penha, PE.

O relevo da Serra do Arapua é predominantemente suave ondulado. Os solos, nos patamares compridos e baixas vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, mal drenados, fertilidade natural média e problemas de sais; Topos e Altas Vertentes, os solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; Topos e Altas Vertentes do relevo ondulado ocorrem os Podzólicos, drenados e fertilidade natural média e as Elevações Residuais com os solos Litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural média (IBGE, 2012; CPRM, 2010).

Na (Figura 3) encontra-se caracterizado a região que forma o conjunto de montanhas da Serra do Arapua.

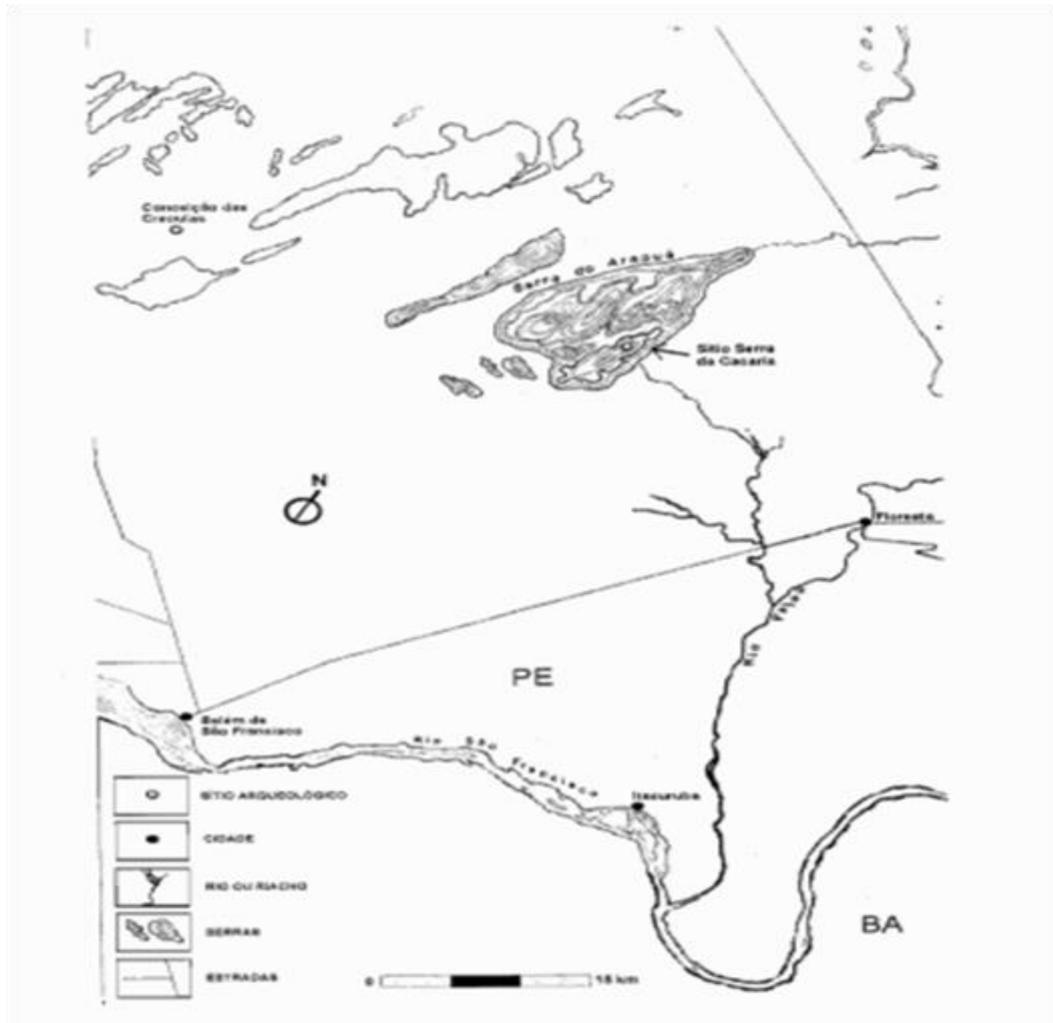


Figura 3. Caracterização do conjunto de montanhas da Serra do Arapuá, Carnaubeira da Penha - PE.

Fonte: Silva Jr et al., (2000)

O clima do município de Carnaubeira da Penha é semiárido, tipo BSh segundo a classificação climática de Köppen, com chuvas de verão (Figura 3). O período chuvoso tem início no mês de novembro com término em abril com precipitação média anual de 751 mm. Os invernos são mornos e secos, com a diminuição de chuvas. As temperaturas mínimas do ar podem chegar a 19°C. As primaveras são muito quentes e secas, com temperaturas máximas do ar muito altas, que em que algumas ocasiões podem chegar a mais de 34°C. A temperatura média anual é de 25,8°C.

Cranaubeira da Penha - PE

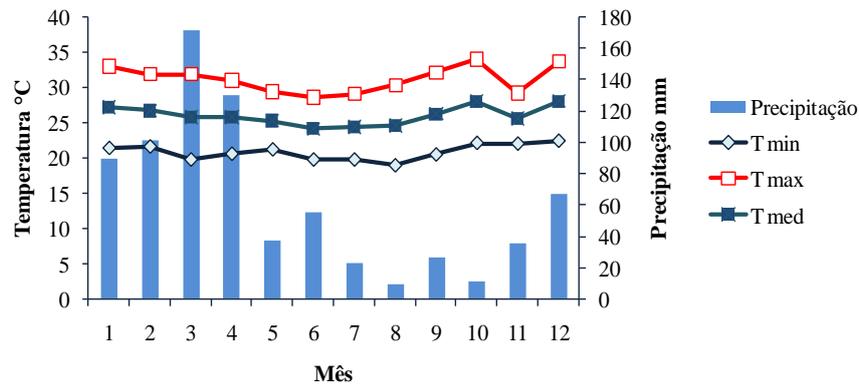


Figura 4. Médias climatológicas de 1961 a 1990 do município de Cranaubeira da Penha – PE em função do número de meses, onde Tmax = temperatura máxima, Tmin = temperatura mínima e Tmed = temperatura média do ar. Fonte: <http://jornaldotempo.uol.com.br/climatologia>

A Serra do Arapuá possui inúmeras fontes de água, o que a caracteriza como um “oásis do sertão”. Segundo especificam os índios, são cerca de 19 grotas, 15 lagoas, 28 açudes e barragens e 82 nascentes permanentes de água (REMDIPE, 2017). A principal fonte de renda dos agricultores é o extrativismo vegetal, desempenhado por muitas vezes por índio da tribo Pankará que ali habitam desde os tempos de colonização (OLIVEIRA, 2014). Outra característica da Serra do Arapuá é a presença de sítios arqueológicos, onde são encontrados grafismos, sítios de grupos agricultores-ceramistas em excelente estado de conservação, fragmentos de cerâmica e de artefatos de material lítico (LIMA, 2008). As características apresentadas por esse brejo, bem como sua importância para produção de alimentos e extrativismo dos habitantes local, levaram a escolha dessa região para esse estudo.

Dados meteorológicos para validação do modelo MTCLIM

Visando à realização da validação das saídas do modelo MTCLIM e também realizar a distribuição espacial das variáveis meteorológicas modeladas serão usados dados de radiação solar global (R_g , MJ m⁻² dia⁻¹), temperatura (t , °C) e déficit de pressão de vapor (DPV, kPa), calculando-se médias diárias para DPV e t e somatório para R_g das estações meteorológicas automáticas de Floresta (8°35'S; 38°34'W; 311m), Cabrobó (8°30'S, 39°18'W; 325m), Belém do São Francisco (8°45'S, 38°57'W; 305m) por estarem próximas do local onde se quer estudar, Serra Talhada (38°48'S, 7°58'W, 475m) e Triunfo (38°20'S, 7°54'W, 1011m) (Figura 4). Estes dois últimos Municípios, foram escolhidos para validação do modelo, por apresentarem características de clima e relevo semelhantes ao local que será estudado. Esses dados foram coletados nas páginas virtuais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2015) e do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2015). Os dados mensais de precipitação, direção e velocidade do vento da estação meteorológica automática de Floresta - PE estão mostrados nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Precipitação pluviométrica mensal (mm) da estação meteorológica automática do INMET no município de Floresta – PE para os anos estudados na pesquisa.

Anos/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Totais
2006	75,0	20,3	153,9	59,9	12,6	20,9	7,9	1,3	7,3	0,3	11,3	65,0	435,7
2012	24,1	40,5	35,6	0,8	3,5	4,6	6,0	3,3	0,3	0,0	5,8	5,5	130,0

Tabela 3. Direção predominante do vento (velocidade do vento, m.s-1) da estação meteorológica automática do CPTEC no município de Floresta – PE (8,6°S; 38,576°W) para os anos estudados na pesquisa.

Anos/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Out.	Nov.	Dez.
2006	146	128	121	148	143	152	155	148	148	137	139
	(7,6)	(5,4)	(4,1)	(3,5)	(5,2)	(5,1)	(5,2)	(7,2)	(7,0)	(8,2)	(7,5)

2012	132	146	140	148	155	152	154	153	145	145	136
	(6,7)	(7,2)	(7,6)	(7,6)	(6,9)	(6,7)	(7,7)	(7,8)	(8,4)	(8,0)	(6,7)

Para a escolha das estações foram determinados quatro critérios:

1. Proximidade do local de estudo;
2. Disponibilidade de dados no período a ser estudado;
3. Série temporal que apresentar menor falha de dados e;
4. Características de clima e de relevo, semelhantes ao local a ser estudado.

O preenchimento dos dados faltosos foi feito utilizando os valores encontrados nos dias seguintes e subsequentes, para as respectivas variáveis (Temperaturas máximas, mínimas e médias).



Figura 5. Localização das estações meteorológicas automáticas que serão utilizadas no estudo. Fonte: Google Earth.

Aplicação do modelo MTCLIM

O modo de funcionamento do modelo MTCLIM (Figura 5) mostra como funciona os componentes do programa para a obtenção dos valores referentes à R_g , t e DPV. Os dados de entrada da estação base (Floresta) para inicializar o modelo são a temperatura máxima e mínima do ar, elevações da estação e do local de interesse, inclinação e exposição do terreno.

O modelo a ser utilizado será a versão mais atual do programa que é MTCLIM 4.3 e está acessível gratuitamente na internet e poderá ser descarregado através do seguinte link: <http://www.ntsug.umt.edu/bioclimateology/mtclim/>.

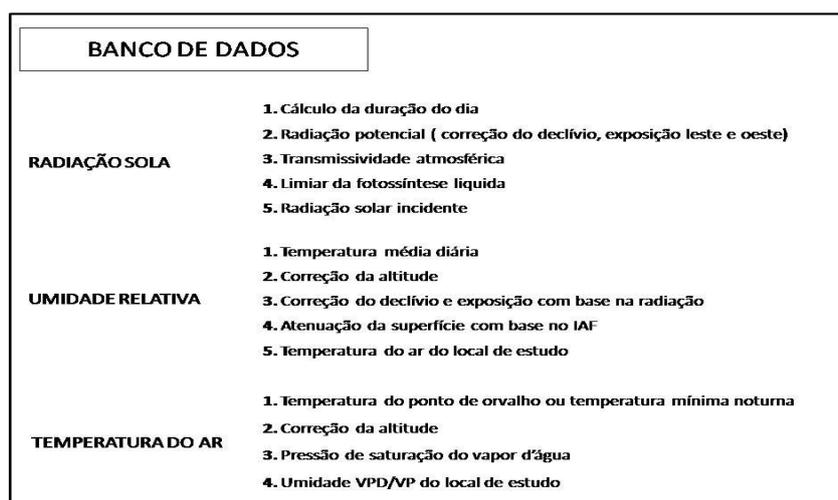


Figura 6. Esquema de funcionamento do modelo MTCLIM, adaptado de Hungerford (1989).

O modelo apresenta outros aspectos a serem implementadas, para que se possa obter uma melhor precisão nos dados obtidos, entre eles esta os “*gradientes verticais médios das temperaturas máxima e mínima do ar*”, sendo obtido um valor absoluto por meio das equações 1 e 2.

$$\nabla T \max = \frac{ALT_{CidadeA} - ALT_{CidadeB}}{T \max_{CidadeA} - T \max_{CidadeB}} = \dots\dots\dots Eq. (1).$$

$$\nabla T \min = \frac{ALT_{CidadeA} - ALT_{CidadeB}}{T \min_{CidadeA} - T \min_{CidadeB}} = \dots\dots\dots Eq. (2).$$

Outra variável importante a ser inserida no modelo são os valores referentes ao ângulo de visão a Leste e Oeste do local de estudo (°), onde recorreu-se ao programa SPRING versão 5.2.7 (CAMARA et al., 1996), e a partir de um modelo digital do terreno gerou-se um corte longitudinal do local, com dimensão de 2.500 m para Oeste e 2.500 m para Leste. Em seguida, foram traçadas as duas retas de intercepção com as cotas mais elevadas e relevantes em cada direção (Figura 6). Uma vez conhecida a diferença de distância e de altitude a que se encontravam esses dois pontos (Oeste e Leste) em relação ao ponto do Local de Estudo (VIS), foram calculados os ângulos que estes pontos apresentavam (αW e αE), como se mostra na Figura (5).

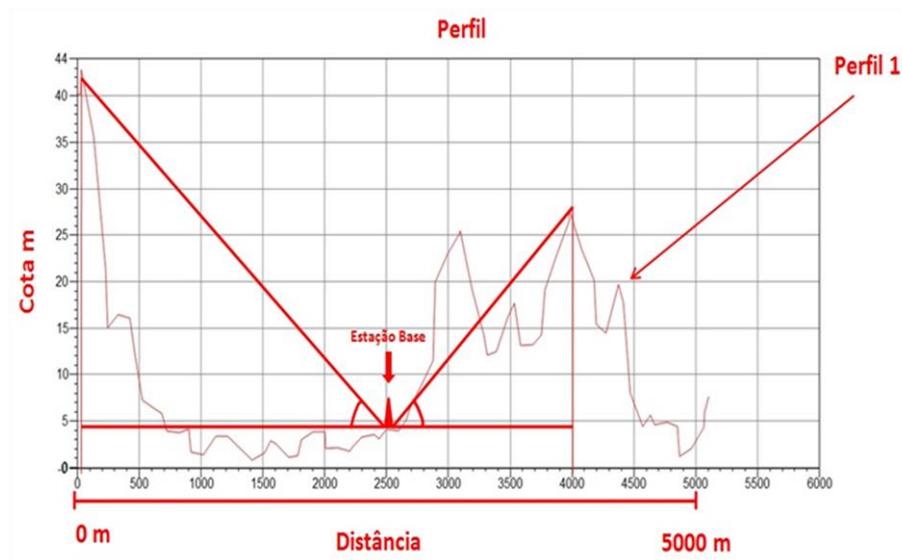


Figura 7. Determinação dos ângulos de visão a Leste e Oeste do local de estudo (°).

O modelo de elevação digital utilizado SRTM de 90 m de resolução espacial, também foi utilizado para obtenção dos valores referentes à altitude que é obtida através

da medição da diferença de fase entre duas imagens de radar sobre um mesmo local na Terra (CCRS, 2004), podendo ser utilizada imagens de diferentes datas ou em mesma órbita, apresentando uma precisão segundo (HEIPKE et al., 2002) de 6 m na vertical.

Estimativas de variáveis meteorológicas para a Serra do Arapuí

As estimativas de Rg, t e DPV serão feitas do local da estação automática de Floresta para pontos escolhidos da vizinhança e Serra do Arapuí obtidos no Google Earth. Segundo Hungerford *et al.* (1989), assume que a função horária da temperatura diária do ar (t, °C) tem uma forma senoidal, calculada usando Tmax e Tmin do posto meteorológico base expressa pela Eq. (3):

$$t = 0,212 \times \left[(T_{\max_{med}} - T_{\max_{est}}) \times \tau + T_{\max_{est}} - \left(\frac{T_{\max_{est}} + T_{\min_{est}}}{2} \right) \right] + \frac{T_{\max_{est}} + T_{\min_{est}}}{2} \dots \text{Eq. (3)}$$

em que: Tmax_{est}, Tmax_{med}, Tmin_{est}, Tmed são as temperaturas máxima, mínima e média (med) diárias do ar da estação (est), respectivamente, em °C; τ é a transmitância atmosférica; A constante 0,212 é o coeficiente empírico.

O déficit de pressão de vapor (DPV, kPa) é expresso pela Eq.(4):

$$DPV = e_s(t_{med}) - e(T_{min}) \dots \dots \dots \text{Eq. (4)}$$

em que: e_s e e são as pressões de saturação e real do vapor d'água em kPa.

A estimada da radiação solar global, média diária, (Rg, W m⁻²) é dada pela Eq. (5):

$$Rg = S_o * N * \tau^{AM} * \cos \phi + \cos^2 * \left(\frac{s}{2} \right) * \left\{ \left[(S_o * N * \cos \theta)^2 * \tau^{AM} \right]^{0,5} * (1 - S_o * N * \tau^{AM} * \cos \theta)^{0,5} \right\} \text{Eq. (5)}$$

em que: S_o é a constante solar (1.367 W m⁻²); N é o fotoperíodo em segundos; θ é o ângulo zenital solar; s é a inclinação do terreno; τ é a transmitância atmosférica diária;

AM é a massa de ar óptica, calculadas usando o modelo de Bristow e Campbell descritas pelas Eqs. 6, 7 e 8:

$$\tau = 0,6 * \left[1 - \exp^{(-0,003\Delta T^{2,4})} \right] \dots\dots\dots \text{Eq. (6)}$$

$$AM = \left[\frac{1,0}{\cos Z} \right] + 1,0 * 10^{-7} \dots\dots\dots \text{Eq. (7)}$$

$$\Delta T = T_{\max_i} - \frac{[T_{\min_i} + T_{\max_i}]}{2} \dots\dots\dots \text{Eq. (8)}$$

em que: ΔT é o intervalo diário de temperatura do ar; T_{\max_i} e T_{\min_i} são as temperaturas máximas e mínimas para o dia i.

Validação do modelo MTCLIM

Após a obtenção de todas as variáveis necessárias para o funcionamento do modelo, foi feita uma validação, utilizando informações de quatro estações meteorológicas.

Foram realizadas duas validações para o modelo em estudo, o primeiro foi entre os municípios de Serra Talhada e Triunfo, tendo como os dados de entradas os valores referentes à estação do município de Serra Talhada, sendo estes valores comparados com os observados no município de Triunfo. O segundo foi entre os municípios de Cabrobó e Belém de São Francisco, tendo como dados de entrada os encontrados no município de Cabrobó e comparado com os observados no município de Belém de São Francisco.

Os dados estimados foram correlacionados com os medidos pela análise de regressão, considerando o Erro médio (EM), Erro Quadrado Médio (EQM), Erro médio absoluto (EMA) e Índice de correlação de Willmott (1981) em que: P_i é o valor

estimado; O_i é o valor observado; O é a média dos valores observados, Coeficientes de correlação (r) e de determinação (R^2). Esses métodos são apropriados para verificação da exatidão escalar dos dados estimados (e) com relação aos observados (o) em uma amostra de N pares de i dados, conforme Eqs., 9, 10, 11 e 12:

$$EM = N^{-1} \sum_{i=1}^N o_i - e_i \dots\dots\dots \text{Eq. (9)}$$

$$EMA = N^{-1} \sum_{i=1}^N |o_i - e_i| \dots\dots\dots \text{Eq. (10)}$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \dots\dots\dots \text{Eq. (11)}$$

$$c = d * r \dots\dots\dots \text{Eq. (12)}$$

O índice “ c ” proposto por Camargo e Sentelhas (1997) foi determinado pela equação 12, para que se possa avaliar o quão bom é ou não o modelo, para as respectivas variáveis estimadas aos municípios estudados. De acordo com os valores estimados para o índice “ c ”, a classificação será feita utilizando a Tabela 4.

Tabela 4. Critério de interpretação do desempenho, proposto por Camargo & Sentelhas (1997) através do índice (c).

Valor de "c"	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
< 0,41	Péssimo

Espacialização de variáveis meteorológicas para região da Serra do Arapuá

Foram escolhidos 80 pontos que cobriram toda área da Serra do Arapuá e a estação meteorológica automática utilizada como base de dados. Para cada ponto foi determinado os valores de Altitude, Exposição, Declividade, Latitude e Longitude. O método de interpolação utilizado foi o inverso do quadrado da distância implementado no programa computacional Surfer. As espacializações das variáveis meteorológicas foram realizadas mensalmente para os anos de 2006 e de 2012, com o intuito de encontrar padrões meteorológicos típicos da Serra do Arapuá.

Processamento dos Produtos MODIS

A aquisição das imagens dos produtos dos satélites Terra e Aqua sensor MODIS foram coletadas na página virtual da Agência Nacional Norte-Americana (NASA). Vale ressaltar que os produtos do sensor MODIS são corrigidos dos efeitos atmosféricos, principalmente, dos aerossóis que interferem diretamente nas bandas de reflectância do visível, utilizando-se o código 6s (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum), que segundo Vermote *et al.* (1997) fundamenta-se no modelo de transferência radiativa.

O produto NDVI (MOD13Q1) encontra-se disponível em arquivos HDF-EOS na versão 5 (V005) nível 3, projeção de área Sinusoidal, em quadrículas de 4.800 x 4.800 pixels, resolução espacial de 250 m, resolução radiométrica de 16 bits

O produto albedo (MOD43A3) encontra-se disponível em arquivos HDF-EOS na versão 5 (V005) nível 2G, projeção de área Sinusoidal, em quadrículas de 2.400 x 2.400 pixels, resolução espacial de 500 m, resolução radiométrica de 16 bits e para os albedo

de céu escuro e o de céu claro referente a banda (0,3 a 5,0 μm) com ângulo zenital médio (meio dia solar local). O albedo real foi estimado usando a Eq.(13) abaixo:

$$\alpha_{(\theta,\lambda)} = (1 - S_{(\theta,\tau)}) \times \alpha_{BS(\theta,\lambda)} + S_{(\theta,\tau)} \times \alpha_{BW(\theta,\lambda)} \dots\dots\dots \text{Eq.(13)}$$

em que: $\alpha_{BS(\theta,\lambda)}$ = albedo de céu escuro; $\alpha_{WS(\theta,\lambda)}$ = albedo de céu claro ; θ = ângulo zenital solar; λ = comprimento de onda; $\tau(\lambda)$ = profundidade ou espessura óptica; $S(\theta,\tau)$ = fração de luz difusa, obtida de tabela look-up table disponível em pacote computacional do produto MOD43B3 (SCHAAF, 2015).

O índice de área foliar (IAF) foi determinado a partir das imagens NDVI (Rouse et al., 1974), do sensor MODIS do satélite TERRA, que recobre o globo terrestre diariamente. As imagens NDVI foram compostas em períodos de 16 dias. Neste caso, os valores de IAF podem variar de célula (ou pixel) para célula, em função do valor de NDVI de cada célula das imagens MODIS. As imagens NDVI do MODIS têm resolução espacial de 250 m x 250 m e foram reamostradas para 90 m x 90 m, para serem compatibilizadas com a resolução espacial das demais variáveis empregadas no modelo MTCLIM. Entre os produtos gerados a partir das imagens MODIS, disponibilizados gratuitamente pela NASA, está o IAF (MOD15A2). Entretanto, Rizzi et al. (2006) observaram que durante o período de máximo desenvolvimento vegetativo da soja, os valores de IAF do MODIS apresentam uma elevada porcentagem de valores inválidos, o que impediu o uso deste produto. Assim, o cálculo do IAF foi feito a partir das imagens NDVI do MODIS e consiste, primeiramente, na sua transformação em fração do solo coberto por vegetação (F_c), pelo método proposto por (CHOUDHURY et al., 1994) Eq. 15:

$$Fc = 1 - \left[\frac{NDVI_{\max} - NDVI}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^{0,6} \dots\dots\dots Eq. (15)$$

em que: $NDVI_{\max}$ é o valor máximo do NDVI da imagem; $NDVI_{\min}$ é o valor mínimo do NDVI da imagem; NDVI é o valor do NDVI da célula a ser contabilizada.

O IAF é estimado por:

$$IAF = -2\ln(1 - Fc) \dots\dots\dots Eq. (16)$$

O primeiro passo foi aplicar a ferramenta computacional MODIS Tool nos produtos MOD13 e MOD43 para obtenções do NDVI, albedos de céus claro e escuro, bandas 1 (vermelho) e 3 (infravermelha próximo), datum WGS84 e projeção geográfica. Em seguida, essas imagens foram importadas para o sistema de informação georreferenciada SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), onde o produto NDVI foi multiplicado por 0,0001, para escalonar valores de NDVI em níveis de cinza para a faixa de -1 a 1, e componentes do albedo de ondas curtas por 0,001, para escalonar valores de níveis de cinza em albedo no intervalo de 0 a 1.

Após a importação das imagens para dentro do programa SPRING, foi realizada uma triagem nas imagens para verificação de suas qualidades. A análise das imagens para obtenção dos resultados de Albedo, NDVI, Fc e IAF foi feita para o período chuvoso dos anos de 2006 e de 2012, verificando assim a variação destas variáveis em dois diferentes períodos, principalmente no aspecto pluviométrico. Esses períodos incluem os meses de fevereiro, março e abril. As cartas produzidas atribuem para cada mês duas cenas, uma vez que a resolução espacial utilizada foi de 16 dias, e para cada

período foram produzidas seis cartas, sendo a N° 1 e 2 correspondente ao mês de fevereiro, 3 e 4 março e 5 e 6 abril, respectivamente.

Para a criação das cartas foi realizada uma classificação não supervisionada, obtendo-se, assim, também as medidas das classes que foi mudado para cada variável. No caso do albedo foi utilizada 16 classes variando de (0,08 – 0,25), NDVI e Fc foram classificadas com o mesmo número de classes sete, abrangendo as faixas entre (-1,0 – 1,0) e o IAF contendo também sete classes, mas com uma diferença, a faixa de abrangência dos pixels entre (0,0 – 7,0) m² m⁻².

Para uma melhor verificação da variação espacial da vegetal nesse estudo, foram coletadas informações referentes á precipitação pluvial para o período de 2005/2006 e 2011/2012, verificando assim a interferência da precipitação nos anos que antecederam este estudo. Os dados foram coletados na plataforma digital da Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo MTCLIM foi desenvolvido e inicialmente aplicado para regiões de relevo montanhoso, podendo ser aplicado também em regiões onde o relevo seja plano (SOUSA, 2010). Nesse estudo, o modelo foi validado para dois Municípios, com características distintas, sendo as estimativas realizadas para os municípios de Cabrobó e Triunfo, sendo o primeiro com um relevo menos acentuado, já no caso do segundo o seu relevo é bem semelhante ao encontrado no local de estudo, isso se dar também por se tratar de uma região de relevo mais acentuado. Esse mesmo Município apresentou os menores erros, e as maiores correlações entre os valores estimados e os valores observados (Tabela 5).

Segundo a classificação pelo índice “c” proposto por Camargo e Sentelhas (1997), a variável VPD apresentou um péssimo desempenho para a validação, além da Tmed para o município de Cabrobó. Em termos de Tmax, Tmed e Tmin destaca-se o município de Cabrobó que apresentou os menores sub e superestimativas, ficando em média 1,49°C. Triunfo ficou em torno de 1,80°C, mesmo apresentando os maiores valores de correlação, mostrando-se assim que os dados referentes a este Município são bem precisos, porém, não apresentam uma boa exatidão, já que os valores de “d” foram os menores encontrados.

Tabela 5. Resultado da calibração do modelo MTCLIM para os municípios de Triunfo e Cabrobó.

		Cálculo r	Cálculo d	MBE °C	RMSE °C	C
CABROBÓ	Tmax	0,95	0,99	-0,01	0,47	Ótimo
TRIUNFO		0,97	0,80	1,99	2,10	Ótimo
CABROBÓ	Tmin	0,78	0,86	0,28	0,95	Bom
TRIUNFO		1,00	0,73	-2,02	2,02	Bom
CABROBÓ	Tmed	0,71	0,66	2,72	3,07	Mau
TRIUNFO		0,99	0,99	-1,20	1,28	Ótimo
		-	-	kPa	kPa	-
CABROBÓ	VPD	0,61	0,23	1634,71	1653,05	Péssimo
TRIUNFO		0,76	0,11	1575,30	1583,06	Péssimo
		-	-	W m⁻²	W m⁻²	-
CABROBÓ	Rg	0,80	0,85	0,72	1,31	Bom
TRIUNFO		0,83	0,90	0,38	1,28	Bom

Obs: Tmax= temperatura máxima do ar; Tmin = temperatura mínima do ar; Tmed = temperatura média do ar; VPD = déficit de pressão de vapor d'água; d = coeficiente de correlação de Willmott; MBE = erro médio e RMSE = erro médio absoluto.

Em um trabalho realizado no estado americano de Montana, utilizando 11 estações meteorológicas, Hugerford *et al.* (1989) verificaram um r médio para T_{med} de 0,75, T_{max} de 0,83 e T_{min} de 0,59, mostrando-se inferiores aos encontrados nesse estudo. Dessa forma, o modelo foi bem avaliado para estes locais, apenas Cabrobó apresentou valores de T_{min} inferiores aos apresentados por esses autores. É importante salientar que quanto maior a proximidade entre a estação meteorológica e o local onde será estimado os dados menor é o erro encontrado (LOPES & VALERIANO, 2004).

Utilizando diferentes formas de estimativa da temperatura média do ar entre os anos de 2005 e 2008 para o município de Belém de São Francisco, Jerszurki & Souza (2010) observaram valores de “ r ” entre 0,89 e 0,90, valores superiores á estes foram encontrados para o município de Triunfo. Quando estes mesmos autores avaliaram os valores médios do índice “ c ” encontraram 0,89 e 0,92, tendo estes, dados uma característica de superestimativa.

Uma tendência de superestimativa ocorreu para o município de Cabrobó quando observados os valores de temperatura do ar, algo que não foi verificado em Triunfo, que mostra uma tendência maior de subestimar os resultados. Kimball *et al.* (1997) verificaram nos locais áridos, a diferença da média anual entre T_{min} e T_{med} foi de 11°C, e para os ambientes semiáridos, a diferença média anual foi de 5°C e as diárias para o inverno foram de 2°C.

A estimativa de R_g , utilizando o modelo MTCLIM para ambos os Municípios, apresentou boa estimativa, salientando que foi encontrada uma leve tendência de superestimativa para Cabrobó (0,72 W/m²).

Contudo o modelo MTCLIM apresentou resultados bem significativos na estimativa das variáveis Tmed, Tmax, Tmin e Rg. O VPD foi o que apresentou os piores resultados, para os dois Municípios, encontrados uma classificação péssima para essa variável.

Regimes de temperatura máxima do ar

As cartas temáticas das temperaturas máximas mensais de 2006 são mostradas nas Figuras 7 e 8. As temperaturas máximas do ar (Tmax) de janeiro/2006 variaram entre 31,0°C a 36,5°C, apresentando os menores valores sobre a Serra do Arapuá (cor amarela). Para fevereiro/2006, a Serra do Arapuá apresenta-se em tons amarelos e verde com Tmax oscilando entre 32,5°C a 33,5°C, enquanto que os maiores valores (37,0°C) encontram-se nos vales e nas planícies do Município. Em março/2006, observa-se uma diminuição espacial das Tmax em todo o Município. A Serra do Arapuá apresenta-se bem destacada em tons de verde com Tmax entre 30,0°C a 32,5°C.

Em abril/2006, a Serra do Arapuá apresenta três núcleos (cor verde escuro) com Tmax próximas dos 29°C. As Tmax de maio/2006 variaram entre 27,0°C a 32,5°C, com valores mais baixos sobre a Serra do Arapuá (cor azul). Constatou-se ainda, a intensificação e o aparecimento de novos núcleos sobre o Município. Com o início do inverno em junho/2006, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Tmax (24,5°C). Percebe-se uma drástica redução das Tmax em todo o Município. Em julho/2006, as Tmax oscilam entre 24,0°C a 29,5°C e em agosto/2006 entre 26,0°C a 31,5°C. As tardes mais frias do ano estão contidas no mês de julho/2006.

Na primavera, as Tmax iniciam variando entre 29°C na Serra do Arapuá a 34,5°C nas depressões do Município. Gradativamente, as Tmax vão aumentando no mês de

outubro/2006 e começam a surgir os núcleos isolados de Tmax, devido ao efeito topográfico. O final da primavera, novembro/2006, as tardes estão bem quentes apresentando Tmax de 32,0°C a 37,5°C. Em dezembro/2006, as Tmax das tardes de verão variam entre 32,5°C a 38,2°C. Ainda assim, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Tmax.

Durante todos os meses de 2006, a predominância dos ventos foi na direção sudeste (Tabela 4) e com diferentes intensidades, associada à altitude local proporcionou tardes mais “frias” na parte sudeste da Serra do Arapuá. Verificou-se também um maior resfriamento da parte oeste em volta da Serra do Arapuá para ambas as épocas, tendo o período seco apresentado os maiores valores de Tmax. Segundo Fritzsos *et al.* (2008), a temperatura do ar decresce com a elevação dentro da troposfera numa proporção de aproximadamente -0,65°C/100m (gradiente adiabático do ar seco). Esta taxa de arrefecimento ocorre, pois uma massa de ar seco em ascensão está sujeita a pressão cada vez menor, aumentando seu volume e diminuindo a temperatura. Como este gradiente térmico depende da saturação do ar, o decréscimo da temperatura média com a altitude se situa em torno de -1°C a cada 180 m (DURY, 1972).

Bardin *et al* (2010) também observaram que o fator altitude é o de maior influência na estimativa da temperatura do ar, pois para a variação de 100 m na altitude a temperatura mínima varia entre 0,6 e 0,8 °C. Para Lado *et al.* (2007) a distribuição espacial da Tmax médio é influenciada pela apenas pelas variáveis independentes latitude e altitude. Linacre (1982) tem analisado os resultados de 16 publicações científicas internacionais sobre os efeitos da altitude na amplitude térmica diária do ar. O autor constatou que a amplitude térmica aumenta entre 0 a 200 m e diminui entre 750

a 3.400 m. Pesquisas realizadas por Lopes e Valeriano (2009) na Serra da Mantiqueira-SP mostraram que a adição de cobertura de nuvens reduziu bruscamente os valores estimados de Tmax diária sobre campos e matas. Lopes et al. (2011) afirmam que a variabilidade na Tmax com a altitude pode está também relacionada aos fortes ventos experimentados pelas encostas das montanhas, especialmente a barlavento que reduz a amplitude térmica.

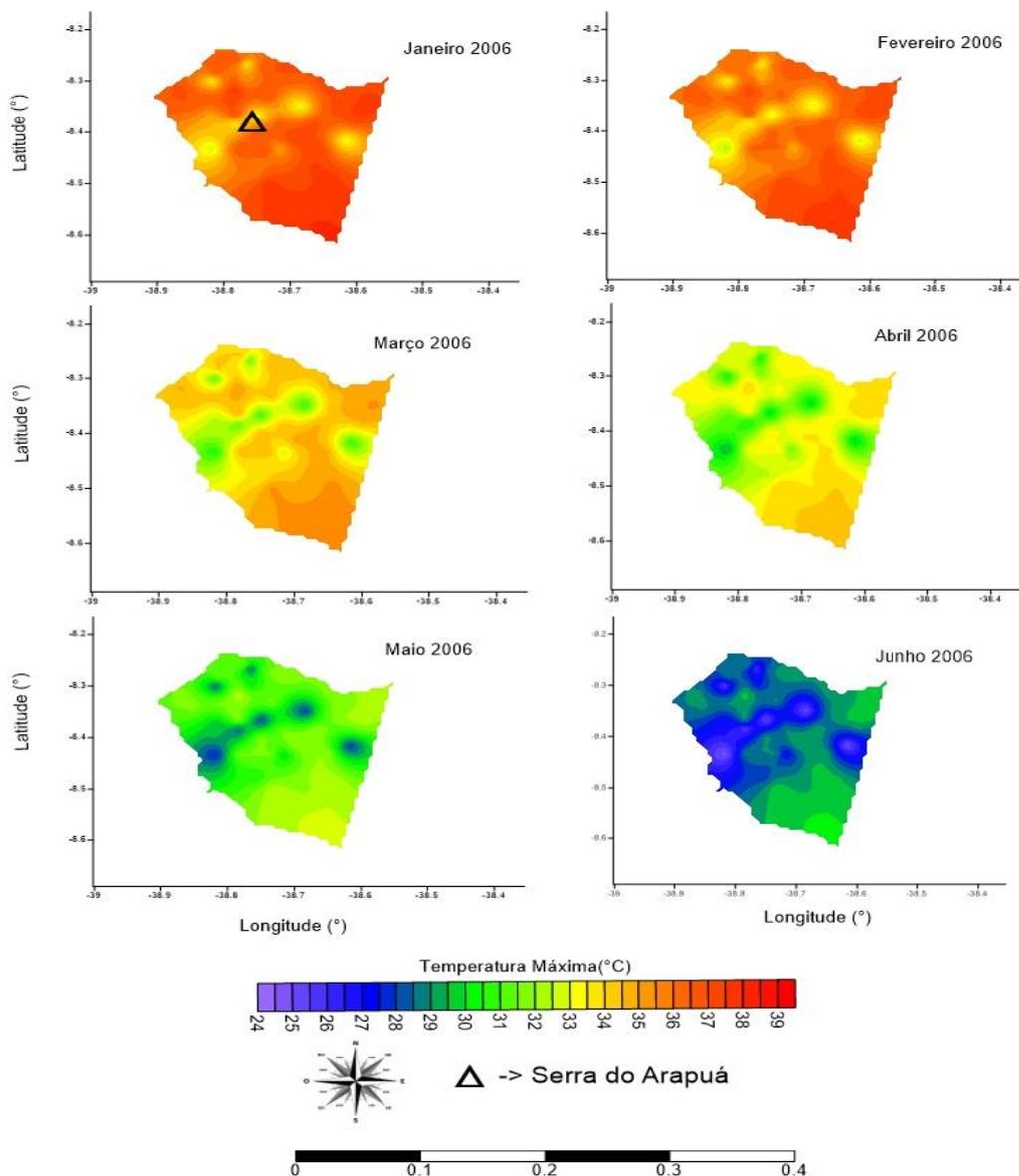


Figura 8. Cartas temáticas das temperaturas máximas do ar (°C) de janeiro a junho de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

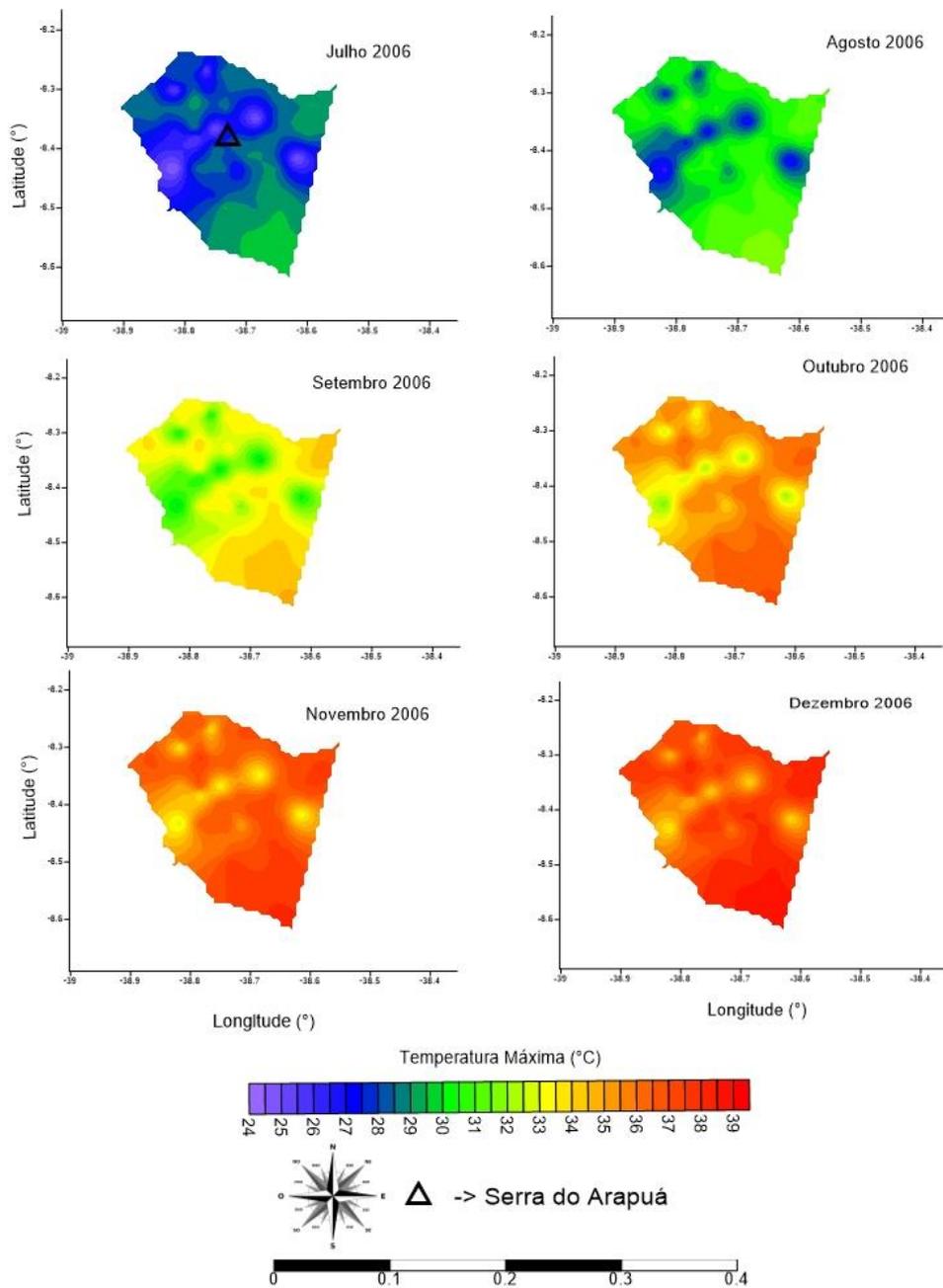


Figura 9. Cartas temáticas das temperaturas máximas do ar (°C) de julho a dezembro de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

As cartas temáticas das temperaturas máximas mensais de 2012 são mostradas nas Figuras 9 e 10. As temperaturas máximas do ar (Tmax) de janeiro/2012 variaram entre 31,0°C a 36,0°C, apresentando os menores valores sobre a Serra do Arapuá (cor verde). Para fevereiro/2012, a Serra do Arapuá apresenta-se em tons amarelos e verde com Tmax oscilando entre 29,5°C a 32,0°C, enquanto que os maiores valores (35,0°C) encontram-se nos vales e nas planícies do Município. Em março/2012, observa-se um aumento espacial das Tmax em todo o Município. A Serra do Arapuá apresenta-se bem destacada em tons de verde com Tmax entre 30,0°C a 32,5°C.

Em abril/2012, a Serra do Arapuá continua apresentando três núcleos (cor verde claro) com Tmax próximas dos 31°C. As Tmax de maio/2012 variaram entre 31,0°C a 34,5°C, com valores mais baixos sobre a Serra do Arapuá (cor verde). Constatou-se ainda, a intensificação de núcleos de Tmax sobre o Município. Com o início do inverno em junho/2012, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Tmax (28,0°C). Percebe-se uma pequena redução das Tmax em todo o Município. Em julho/2012 e agosto/2012, as Tmax tiveram a mesma amplitude oscilando entre 25,5°C a 31,0°C. As tardes mais frias do ano continuaram sendo as do mês de julho/2012.

Na primavera, as Tmax iniciam variando entre 28,5°C na Serra do Arapuá a 33,5°C nas depressões do Município. Gradativamente, as Tmax vão aumentando no mês de outubro/2012 e começam a surgir os núcleos isolados de Tmax, devido ao efeito topográfico. O final da primavera, novembro/2012, as tardes estão bem quentes apresentando Tmax de 33,0°C a 38,0°C. Em dezembro/2012, as Tmax das tardes de verão variam entre 32,5°C a 38,2°C. Ainda assim, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Tmax. Lopes e Valeriano (2009) observação que o resfriamento da

superfície terrestre acentua-se devido à estação de inverno que proporciona dias de céu claro sobre o vale e formação de nuvens orográficas sobre as áreas serranas.

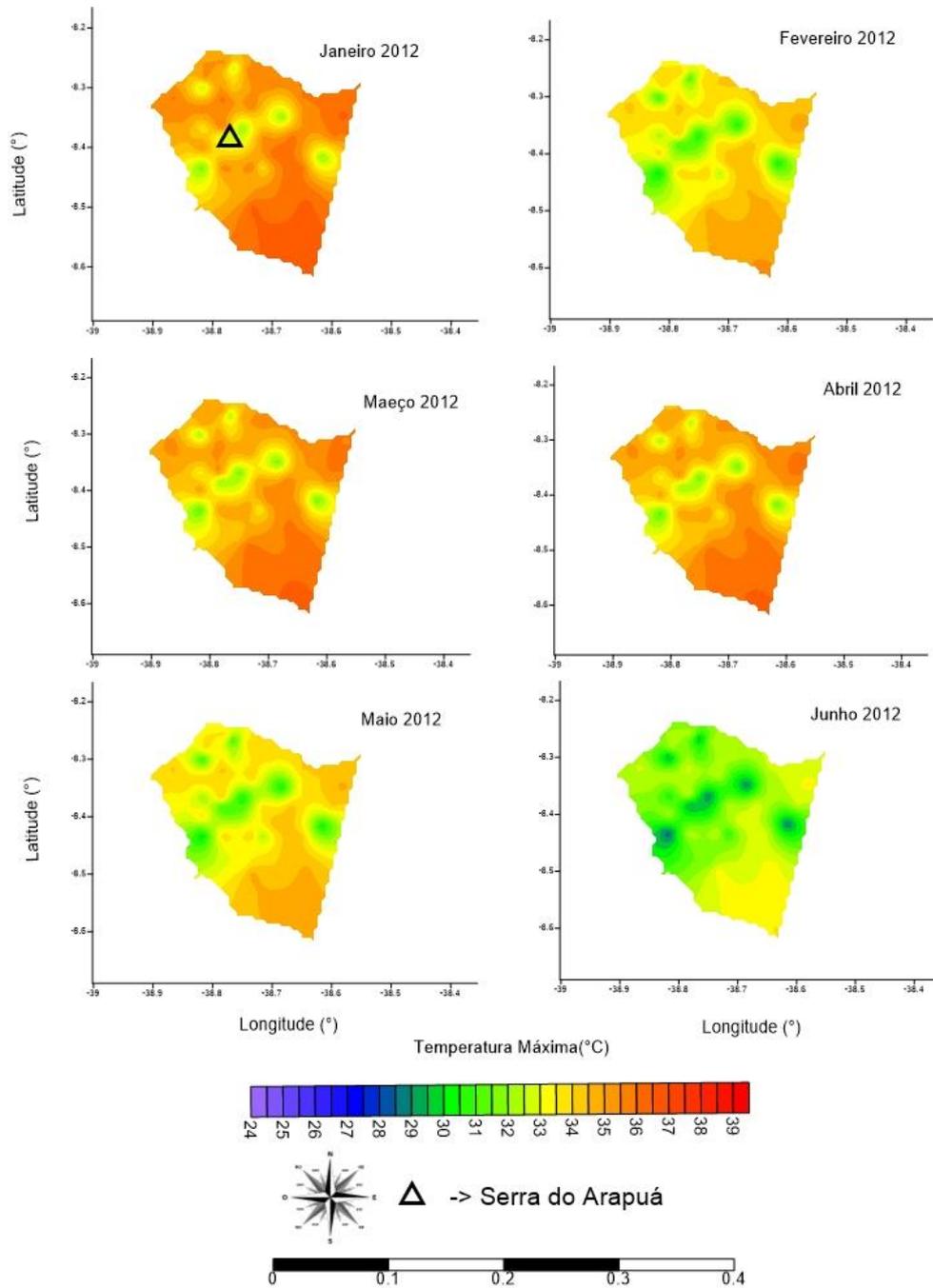


Figura 10. Cartas temáticas das temperaturas máximas do ar (°C) de janeiro a junho de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

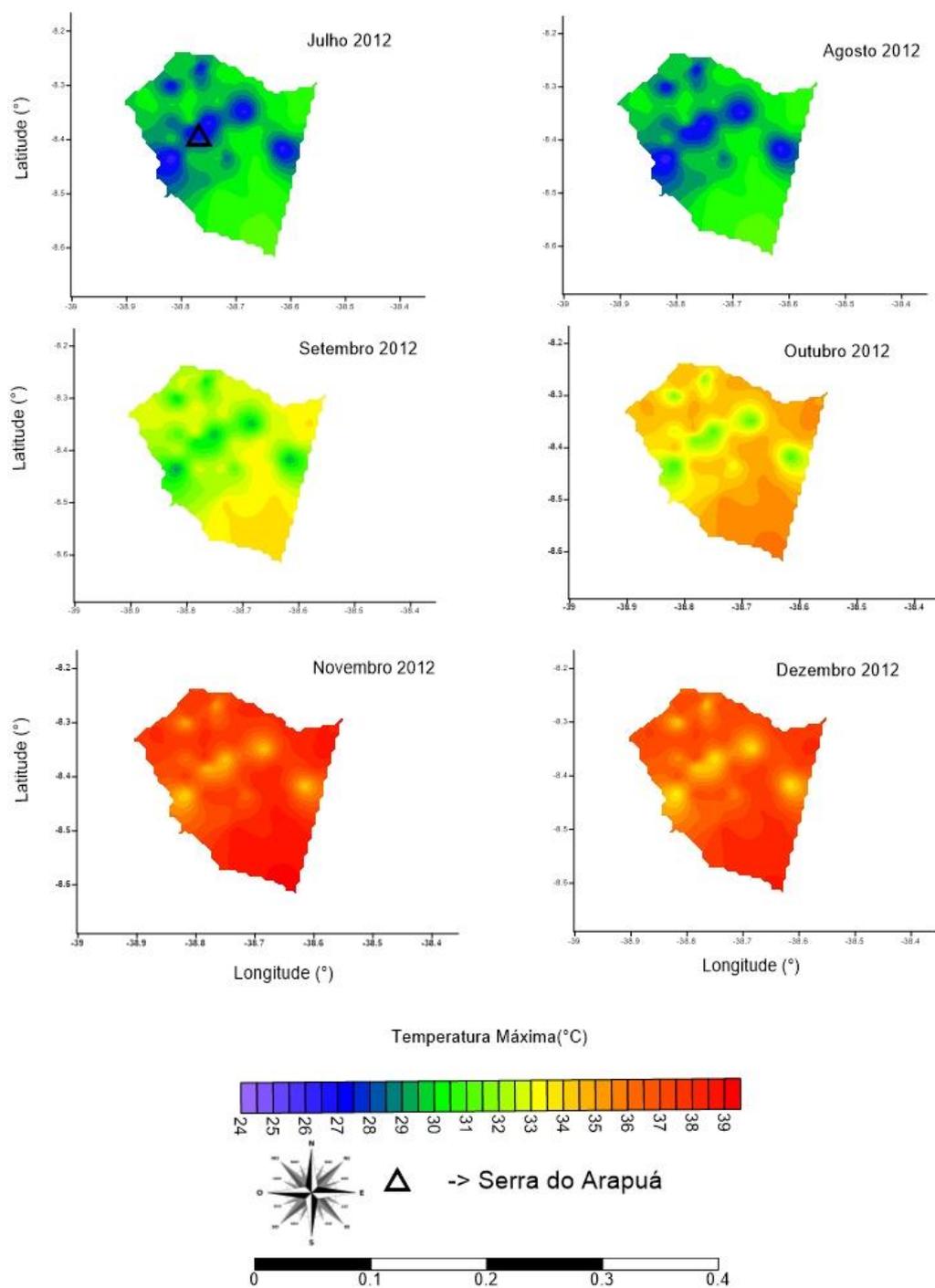


Figura 11. Cartas temáticas das temperaturas máximas do ar (°C) de julho a dezembro de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

Regimes de temperatura mínima do ar

As cartas temáticas das temperaturas mínimas mensais de 2006 são mostradas nas Figuras 11 e 12. As temperaturas mínimas do ar (Tmin) de janeiro/2006 variaram entre 20,5°C a 22,6°C, apresentando os menores valores sobre a Serra do Arapuá (cor amarela). Para fevereiro/2006, a Serra do Arapuá tem Tmin de 22,3°C, enquanto que os maiores valores (24,4°C) encontram-se nos vales e nas planícies do Município. Em março/2006, observa-se uma diminuição espacial das Tmin em todo o Município. A Serra do Arapuá apresenta-se bem destacada em tons de verde com Tmin entre 20,8°C a 23,1°C.

Em abril/2006, a Serra do Arapuá apresenta três núcleos (cor verde escuro) com Tmin próximas dos 21°C. As Tmin de maio/2006 variaram entre 20,1°C a 22,3°C, com valores mais baixos sobre a Serra do Arapuá (cor azul). Constatou-se ainda, a intensificação e o aparecimento de novos núcleos sobre o Município. Com o início do inverno em junho/2006, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Tmin (18,1°C). Percebe-se uma drástica redução das Tmin em todo o Município. Em julho/2006, as Tmin oscilam entre 17,7°C a 19,1°C e em agosto/2006 entre 16,6°C a 19,1°C. As manhãs mais frias do ano estão contidas no mês de agosto/2006.

Na primavera, as Tmin iniciam variando entre 18,7°C na Serra do Arapuá a 20,9°C nas depressões do Município. Gradativamente, as Tmin vão aumentando no mês de outubro/2006 e começam a surgir os núcleos isolados de Tmin, com mínimas de 20,2°C a 22,4°C, devido ao efeito topográfico. O final da primavera, novembro/2006, as manhãs estão bem quentes apresentando Tmin de 21,5°C a 24,3°C. Em dezembro/2006, as Tmin das manhãs de verão variam entre 22,1°C a 24,3°C. Ainda assim, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Tmin. De um modo geral, verificou-se que a

altitude foi a maior condicionante para o decréscimo da temperatura do ar. Lima & Ribeiro (1998), analisando 23 localidades no estado do Piauí nos meses de janeiro e julho, com pelo menos seis anos de observação, constataram que o aumento da altitude foi a variável que mais influenciou para o decréscimo da temperatura.

Para o ano de 2006, a T_{min} a amplitude térmica anual foi de 3°C para ambos os períodos, tendo o período seco apresentado os menores valores de T_{min} em torno de 19,8°C. Estes valores foram encontrados nas regiões mais elevadas, isso pode ser um fator determinante para a manutenção das espécies da região, uma vez que valores elevados de temperatura do ar em épocas de menor disponibilidade hídrica podem elevar a transpiração das plantas, bem como a evaporação da água presente no solo, propiciando as plantas condições de estresse hídrico, podendo acarretar a morte destas além da diminuição da vida vegetal nessa região, conseqüentemente a diversidade de alimentos aos animais e microorganismos estes, que por sua vez, migram para outras regiões ou acabam se extinguindo.

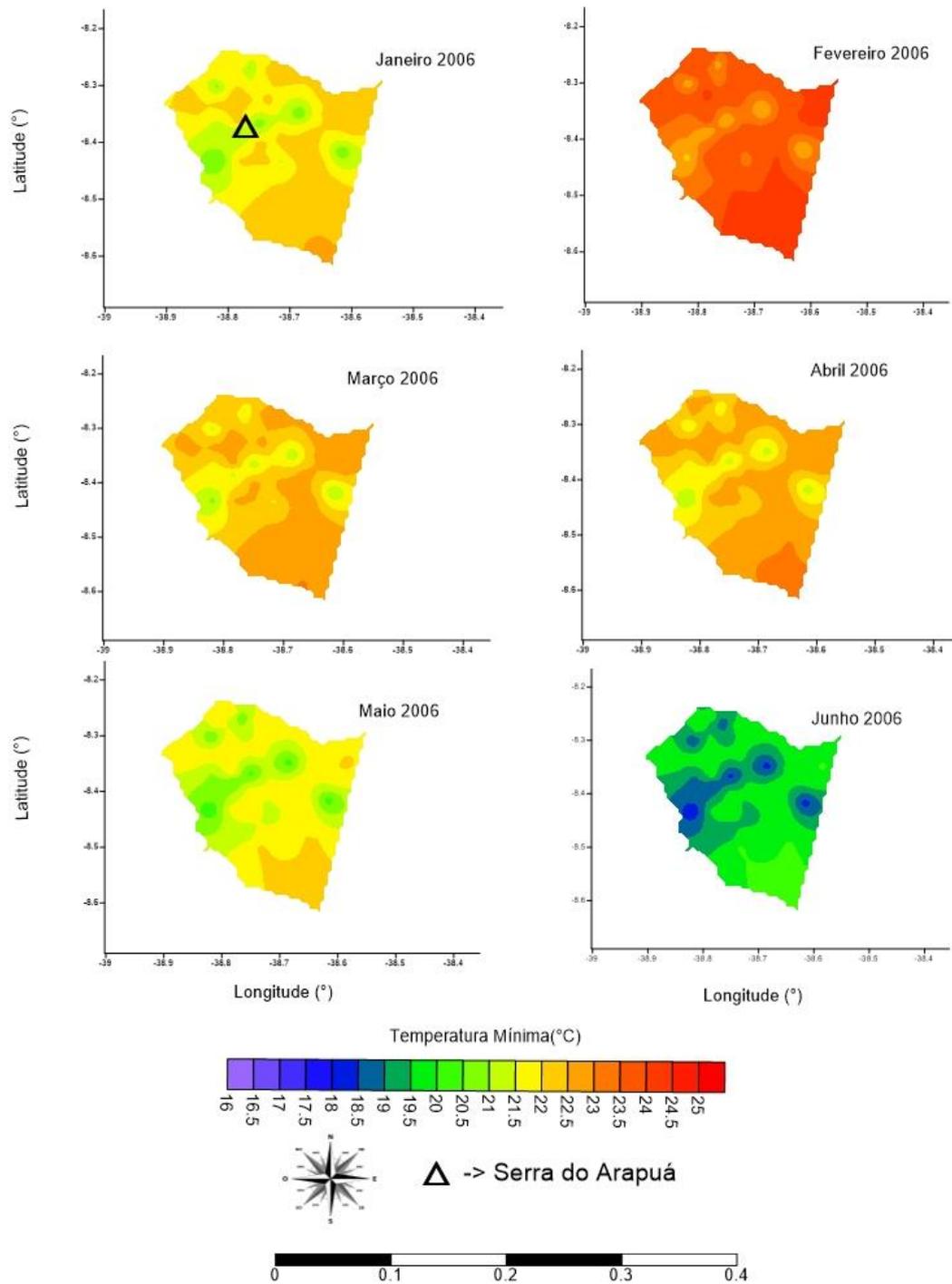


Figura 12. Cartas temáticas das temperaturas mínimas do ar (°C) de janeiro a junho de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha – PE.

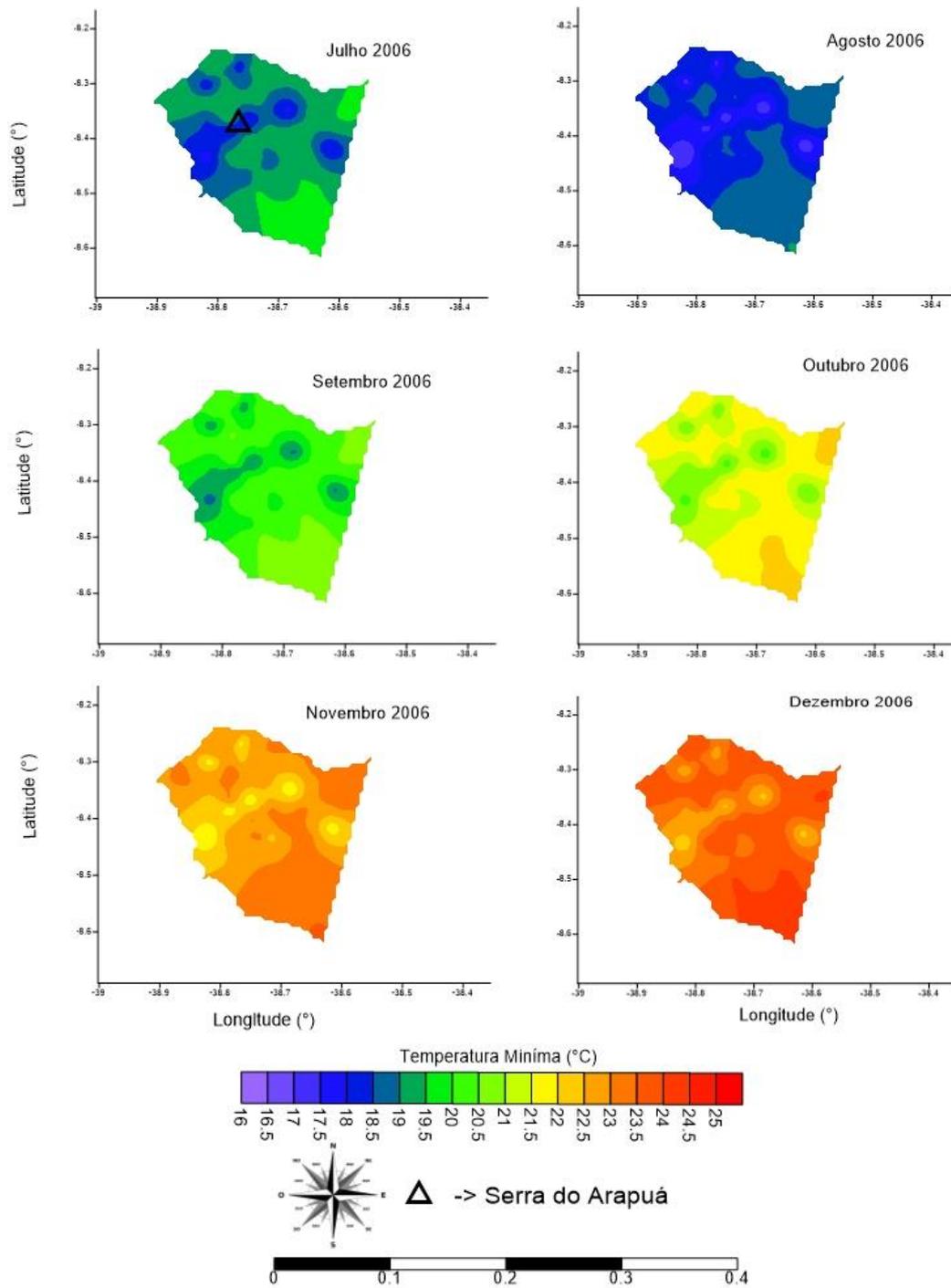


Figura 13. Cartas temáticas das temperaturas mínimas do ar (°C) de julho a dezembro de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

As cartas temáticas das temperaturas mínimas mensais de 2012 são mostradas nas Figuras 13 e 14. As temperaturas mínimas do ar (Tmin) de janeiro/2012 variaram entre 21,3°C a 23,5°C, apresentando os menores valores sobre a Serra do Arapuá (cor amarela). Para fevereiro/2012, a Serra do Arapuá tem Tmin de 20,4°C, enquanto que os maiores valores (22,6°C) encontram-se nos vales e nas planícies do Município. Em março/2012, observa-se uma diminuição espacial das Tmin em todo o Município. A Serra do Arapuá apresenta-se bem destacada em tons de verde com Tmin entre 20,7°C a 22,9°C.

Em abril/2012, a Serra do Arapuá apresenta três núcleos (cor verde escuro) com Tmin próximas dos 20,5°C. As Tmin de maio/2012 variaram entre 17,2°C a 19,4°C, com valores mais baixos sobre a Serra do Arapuá (cor azul). Constatou-se ainda, a intensificação e o aparecimento de novos núcleos sobre o Município. Com o início do inverno em junho/2012, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Tmin (17,2°C). Percebe-se uma drástica redução das Tmin em todo o Município. Em julho/2012, as Tmin oscilam entre 18,8°C a 20,9°C e em agosto/2012 entre 17,0°C a 19,1°C. As manhã mais frias do ano estão contidas no mês de agosto/2012.

Na primavera, as Tmin iniciam variando entre 17,4°C na Serra do Arapuá a 19,5°C nas depressões do Município. Gradativamente, as Tmin vão aumentando no mês de outubro/2012 e começam a surgir os núcleos isolados de Tmin, com mínimas de 19,4°C a 21,6°C, devido ao efeito topográfico. O final da primavera, novembro/2012, as manhãs estão bem quentes apresentando Tmin de 22,4°C a 24,5°C. Em dezembro/2012, as Tmin das manhãs de verão variam entre 22,7°C a 23,9°C. Ainda assim, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Tmin. A variabilidade na Tmin em altitude superior a 700 m pode esta relacionada aos fortes ventos experimentados pelas encostas

das montanhas, especialmente a barlavento que reduz a amplitude térmica. Além disso, a cobertura de nuvens também influencia na estimativa de T_{min} absolutas. Os ventos fortes retiram calor da superfície do solo diminuindo as máximas absolutas e elevando as mínimas pelo processo de condução e impedindo a formação de inversão térmica à noite.

A de se destacar também a importância da T_{min} no crescimento de diversas espécies, uma vez que, para o ótimo desenvolvimento das plantas se exige uma temperatura ótima, e esta pode variar a temperatura mínima, ótima e máxima da folha para o crescimento do tomate é 6,0°C, 35,0°C e 47,0°C, enquanto *Opuntia* pode crescer com os tecidos a 56,5°C, estas que por sua vez é grandemente adaptada a essas condições (PILLAR, 1995).

Em um levantamento florístico realizado por Pereira *et al.* (2010), resultou um total de 136 espécies, posicionadas em 48 famílias, sendo em torno de 70 delas coletadas no topo da serra, cerca de 58 na escarpa meridional e o restante na setentrional. As famílias mais significativas em número de espécies foram: Leguminosae e suas três subfamílias, com 13,97%; Asteraceae 12,5%, Euphorbiaceae 8,09%; Orquidaceae 5,88% e Myrtaceae com 5,15%, os outros táxons abrangendo 43 famílias mostram percentual de 54,41%. O estudo revelou diversidade alta de táxons no interior da floresta ombrófila. Com isso este estudo mostra a grande diversidade existente nessas regiões mais elevadas da serra, que por sua vez propicia menores valores de temperatura do ar, além de grande diversidade alimentar para os organismos da região.

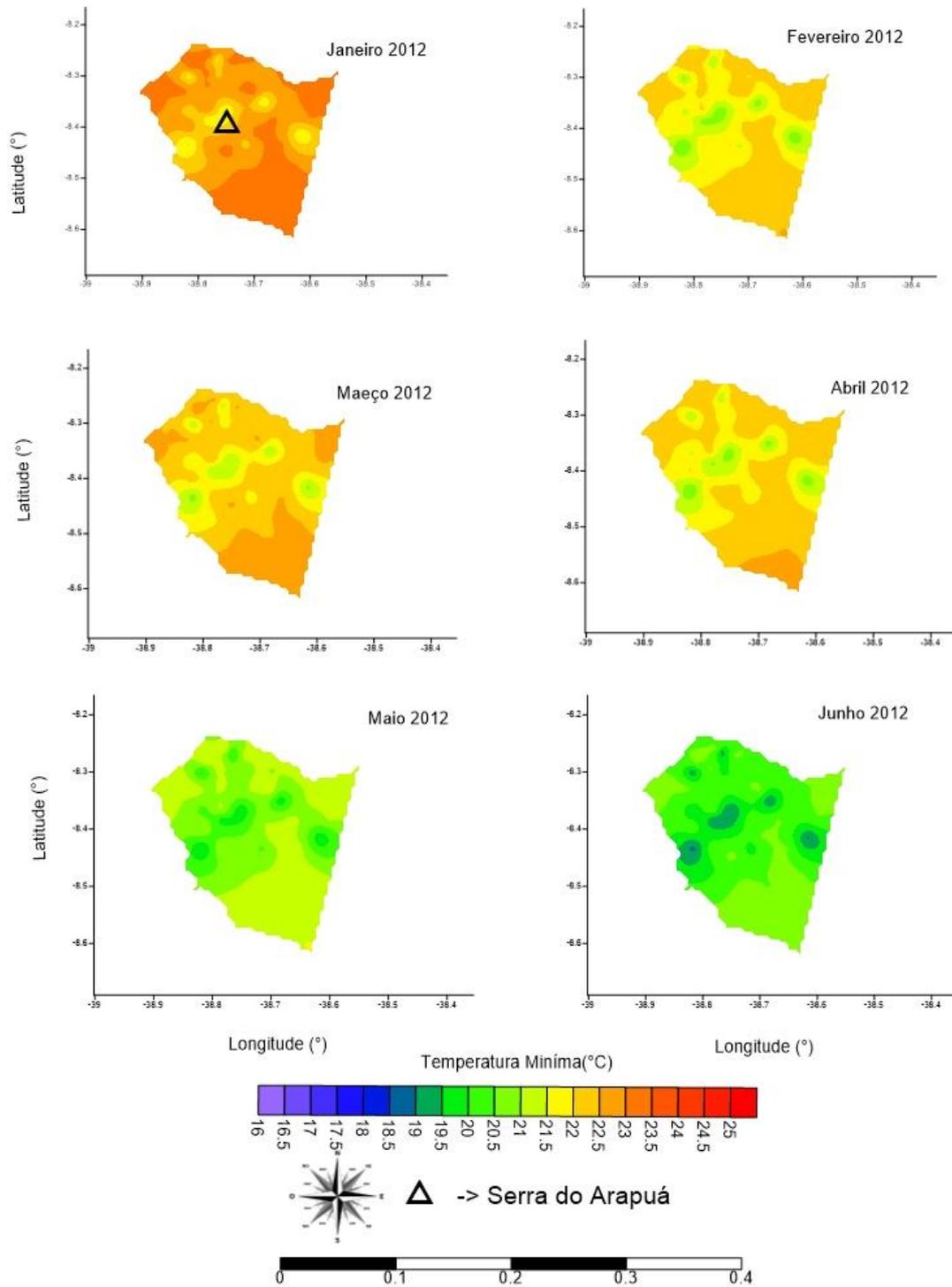


Figura 14. Cartas temáticas das temperaturas mínimas do ar (°C) de janeiro a junho de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

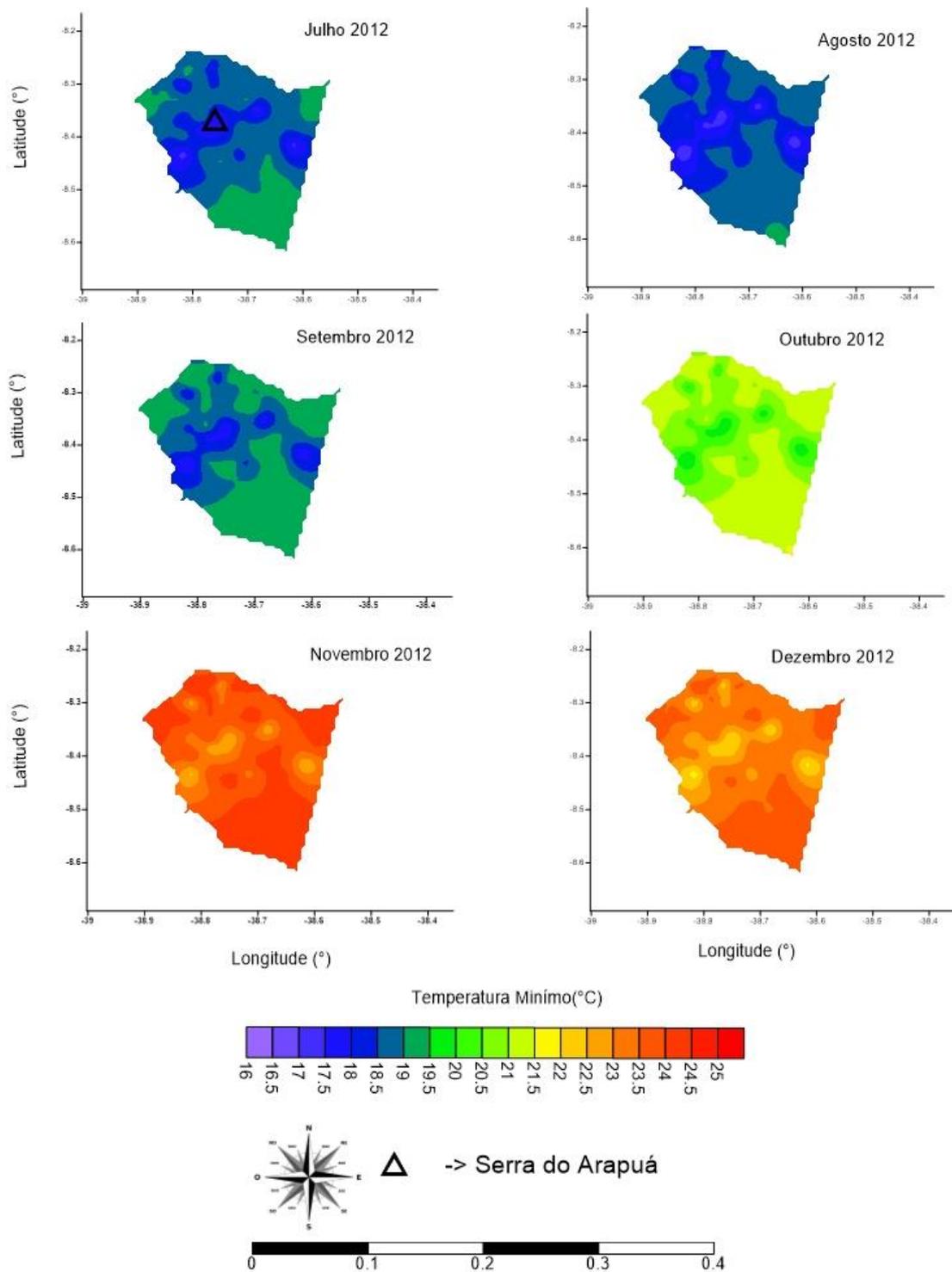


Figura 15. Cartas temáticas das temperaturas mínimas do ar (°C) de julho a dezembro de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

Regimes mensais de temperatura média do ar

As distribuições espaciais das temperaturas médias mensais do ar (Tmed) para o ano de 2006 são mostradas nas Figuras 15 e 16. Em janeiro/2006, a menor Tmed foi de 28,0°C na Serra do Arapuá e a maior de 32,4°C nas planícies e vales, já para o mês de fevereiro/2006, a Tmed variou entre 29,0°C e 33,4°C. Em março/2006, as Tmed começaram a reduzir seus valores oscilando entre 27,4°C a 31,8°C. No mês de abril/2006 a distribuição espacial de Tmed torna-se mais heterogênea com temperatura entre 26,2°C a 30,6°C. No final da estação de outono, maio/2006, o lado da Serra do Arapuá voltado para sudeste está mais resfriado, devido possivelmente ao vento local. Suas Tmed variam de 25,0°C a 29,4°C. Em junho/2006, a distribuição da Tmed é mais suavizada, não há diferenças bruscas entre a Serra do Arapuá e sua vizinhança. A Tmed de junho/2006 variou entre 23,0°C a 27,4°C. O mês de julho/2006 é o mais frio do Município com temperaturas variando de 22,4°C a 26,6°C, enquanto que agosto/2006 as médias oscilam entre 24,0°C a 28,2°C.

Na primavera, setembro/2006, as Tmed iniciam variando entre 26,2°C na Serra do Arapuá a 30,6°C nas depressões do Município. Gradativamente, as Tmed vão aumentando no mês de outubro/2006 e começam a surgir os núcleos isolados de Tmed, devido ao efeito topográfico. O final da primavera, novembro/2006, os dias estão bem quentes apresentando Tmed de 29,2°C a 33,4°C. Em dezembro/2006, as Tmed dos dias de verão variam entre 30,0°C a 34,2°C. Bardin et al. (2010) observaram que o fator altitude é o de maior influência na estimativa da Tmed, pois para uma variação de 100 m de altitude a temperatura mínima varia entre 0,6 e 0,8°C. Lopes et al. (2011) observaram que, à medida em que se afastam da linha do equador em direção ao Sul do Brasil, as altitudes aumentam, diminuindo a Tmed.

O primeiro período do ano de 2006 apresenta os maiores valores uma vez que este se encontra na estação de verão tendo em média 29,7°C, sabendo que esta época é a que apresenta maiores valores de precipitação, é fato afirmar que esse período apresenta maiores valores de Evapotranspiração de Referência (ET_o), uma vez que a T_{med} é um dos principais condicionantes para o aumento desta variável.

Sabendo a importância da ET_o para o desenvolvimento das espécies vegetais, e sendo muito influenciada pela T_{med}, podemos afirmar que as plantas podem sofrer por estresse hídrico com maior severidade no primeiro semestre do ano de 2006, uma vez que, o baixo índice pluviométrico registrado abaixo da normal climatológica, diminui as atividades fisiológicas das espécies nesse ambiente. Gomes *et al.* (2005), estudando a variação da ET_o para o estado do Piauí, verificaram essa tendência de maior ET_o em épocas que a T_{med} apresenta seus maiores valores, enfatizando também, que para o presente estudo, as regiões mais elevadas tendem a sofrer menos com esse fenômeno.

O segundo período, quando realizado a espacialização dos valores obtidos pelo modelo MTclim, se mostrou com médias de temperatura menos elevadas em torno de 28,4°C mesmo sendo caracterizado como seco, isso se dá principalmente por se apresentar na estação de inverno. Essa tendência verifica-se por diversos estudos quando avaliados a variação temporal da temperatura do ar, com observado por (SORIANO, 1997; GOMES *et al.*, 2005) para diversas regiões do país.

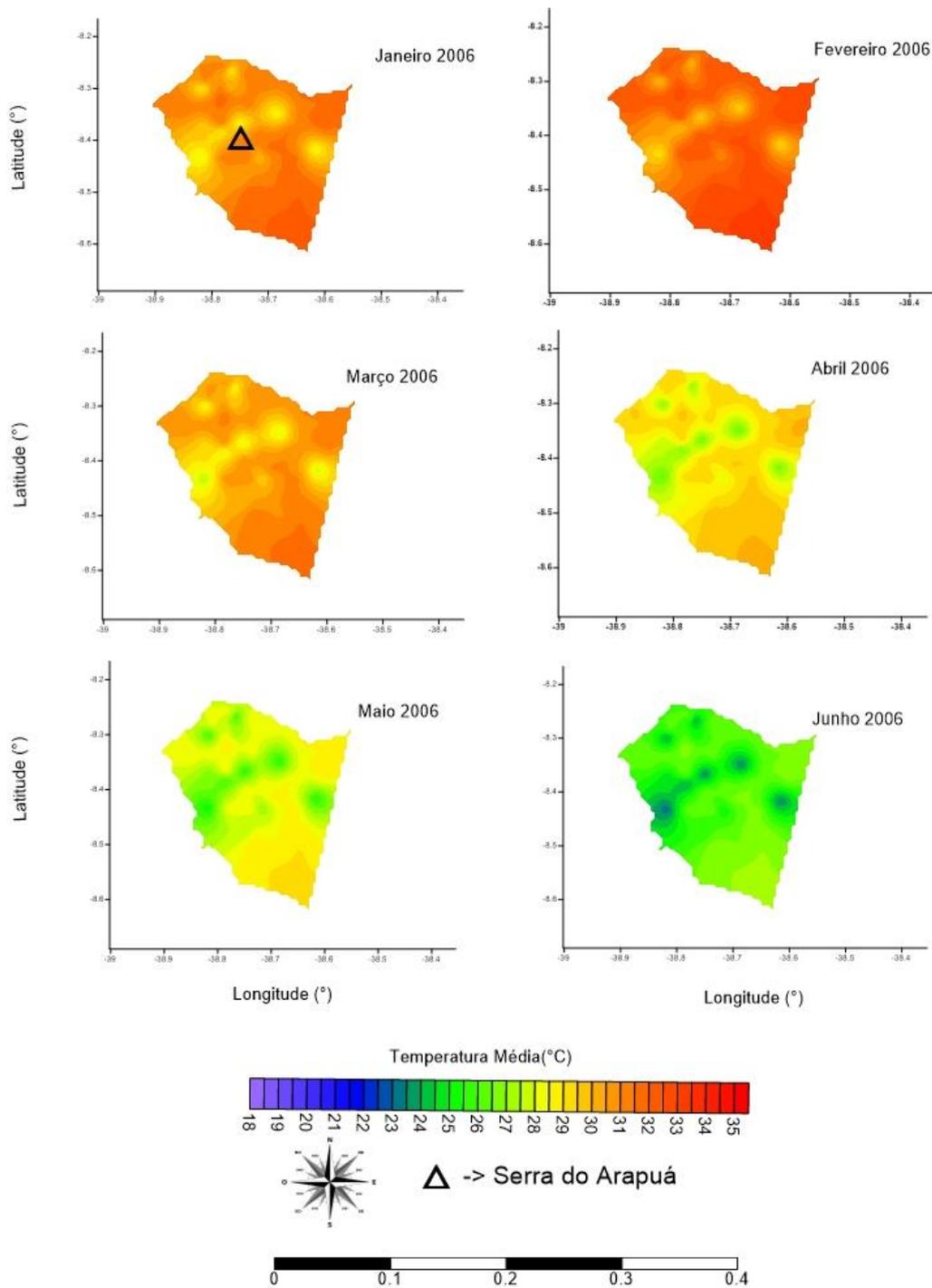


Figura 16. Cartas temáticas das temperaturas médias do ar (°C) de janeiro a junho de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

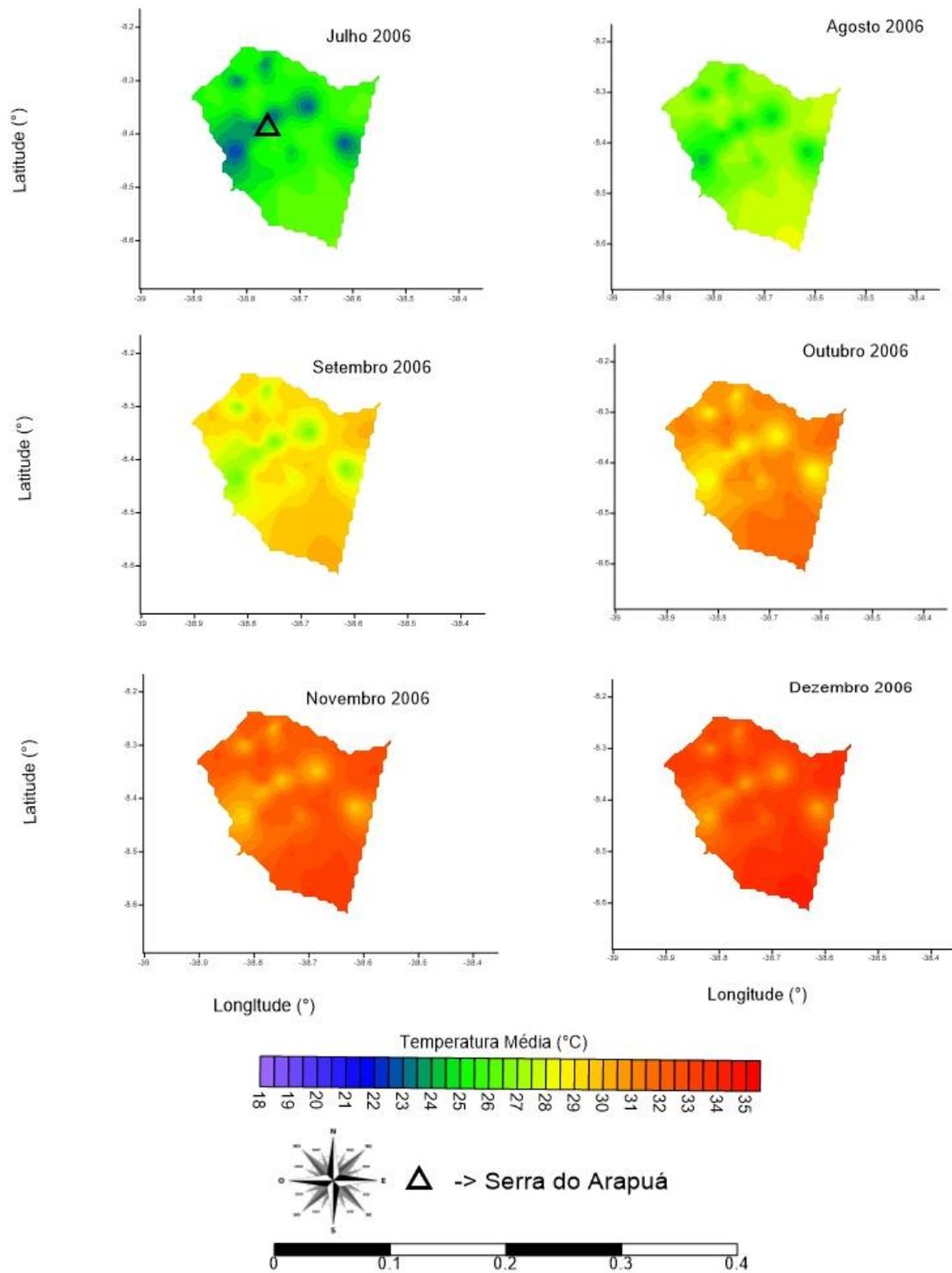


Figura 17. Cartas temáticas das temperaturas médias do ar (°C) de julho a dezembro de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

As distribuições espaciais das temperaturas médias mensais do ar (Tmed) para o ano de 2012 são mostradas nas Figuras 17 e 18. Em janeiro/2012, o menor valor de Tmed foi de 23,0°C na Serra do Arapuá e o maior de 32,4°C nas planícies e vales, já para o mês de fevereiro/2012, a Tmed variou entre 22,0°C e 31,5°C. Observou-se ainda a formação de um núcleo de Tmed a nordeste da Serra do Arapuá. Em março/2012, as Tmed começaram a reduzir seus valores oscilando entre 22,5°C a 32,5°C. No mês de abril/2012 a distribuição espacial de Tmed torna-se mais heterogênea com temperatura entre 22,0°C a 32,5°C. No final da estação de outono, maio/2012, o lado da Serra do Arapuá voltado para sudeste está mais resfriado, devido possivelmente ao vento local. Suas Tmed variam de 21,0°C a 31,0°C. Em junho/2012, a distribuição da Tmed é mais suavizada, não há diferenças bruscas entre a Serra do Arapuá e sua vizinhança. A Tmed de junho/2012 variou entre 20,5°C a 30,0°C. O mês de julho/2012 é o mais frio do Município com temperaturas variando de 18,5°C a 27,5°C, enquanto que agosto/2012 as médias oscilam entre 19,0°C a 30,0°C.

Na primavera, setembro/2012, as Tmed iniciam variando entre 21,0°C na Serra do Arapuá a 31,5°C nas depressões do Município. Gradativamente, as Tmed vão aumentando no mês de outubro/2012 e começam a surgir os núcleos isolados de Tmed, devido ao efeito topográfico. O final da primavera, novembro/2012, os dias estão bem quentes apresentando Tmed de 24,0°C a 34,5°C. Em dezembro/2012, as Tmed dos dias de verão variam entre 23,5°C a 34,0°C.

Quando observado os valores anuais de Tmed verificou-se que, na média o ano de 2012 teve temperaturas variando entre 18,5°C a 34,5°C comparado com o ano de 2006 que com temperaturas entre 22,4°C a 33,4°C. Vários estudos têm indicado que a maior parte do Nordeste tende a receber mais precipitação durante episódios La Niña, mas o

ano de 2012 não seguiu o padrão. Segundo Marengo et al. (2016), durante o evento La Niña de 2012, o mesmo ano em que houve inundações recorde no leste da Amazônia, o NEB declarou estado de emergência na maioria dos distritos na região devido a uma seca considerada a mais grave nas recentes décadas. Isso mostra a importância da preservação da vegetação que por sua vez faz um controle microclimático da temperatura, mesmo tendo pouca disponibilidade hídrica.

As regiões de maiores altitudes confirmam essa afirmação uma vez que, por apresentar uma maior presença de vegetação, demonstram os menores valores de Tmed. A cobertura do solo e a menor exposição às intempéries climáticas potencializam essa característica. Essa característica encontrada nestas regiões de altitude mais elevadas, apresentam grandes vantagens também à manutenção dos bancos de sementes para a reestruturação das áreas vegetais de uma floresta. Esse aspecto não se restringe a essa região, vários autores relatam importância para diversos locais do Brasil (NUNES, 2006; AGUIAR et al., 2005).

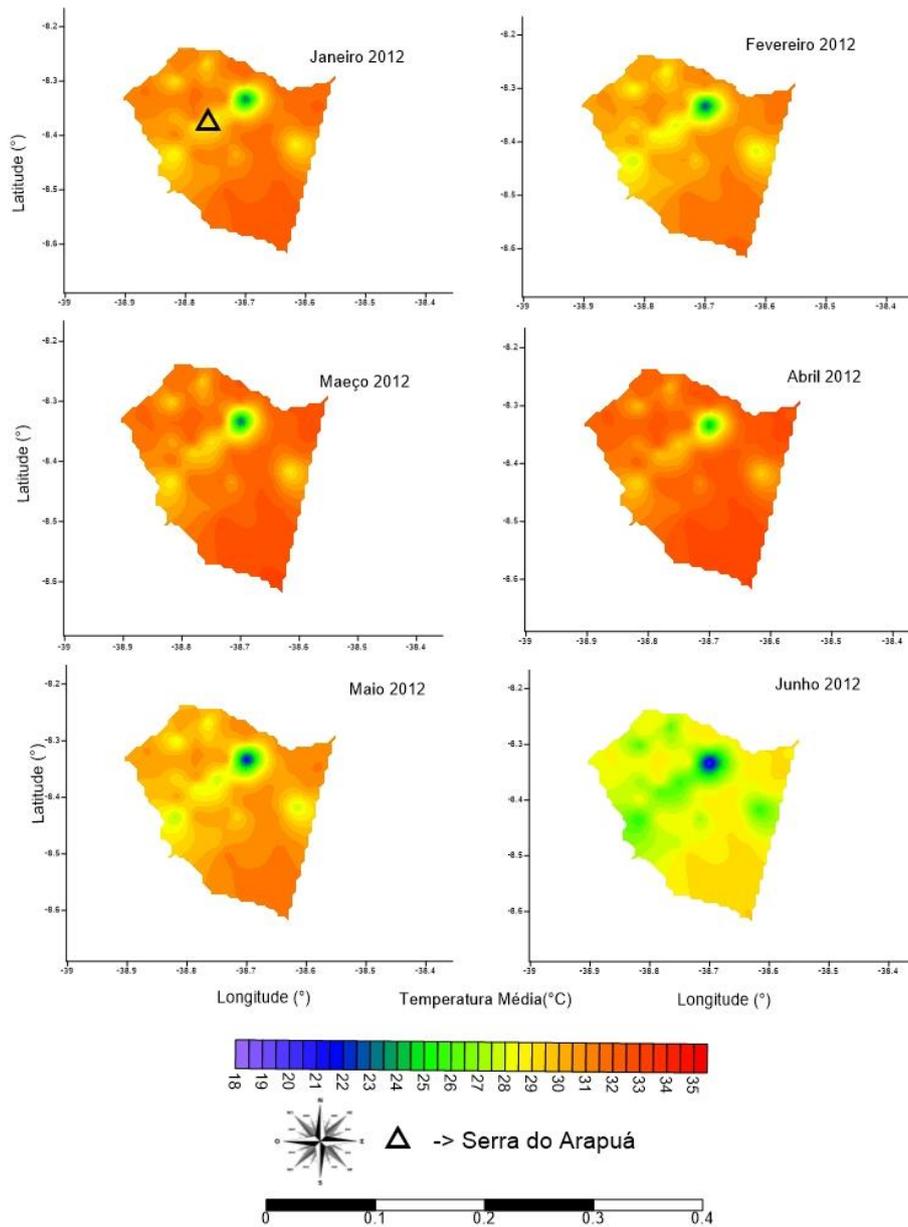


Figura 18. Cartas temáticas das temperaturas médias do ar (°C) de janeiro a junho de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

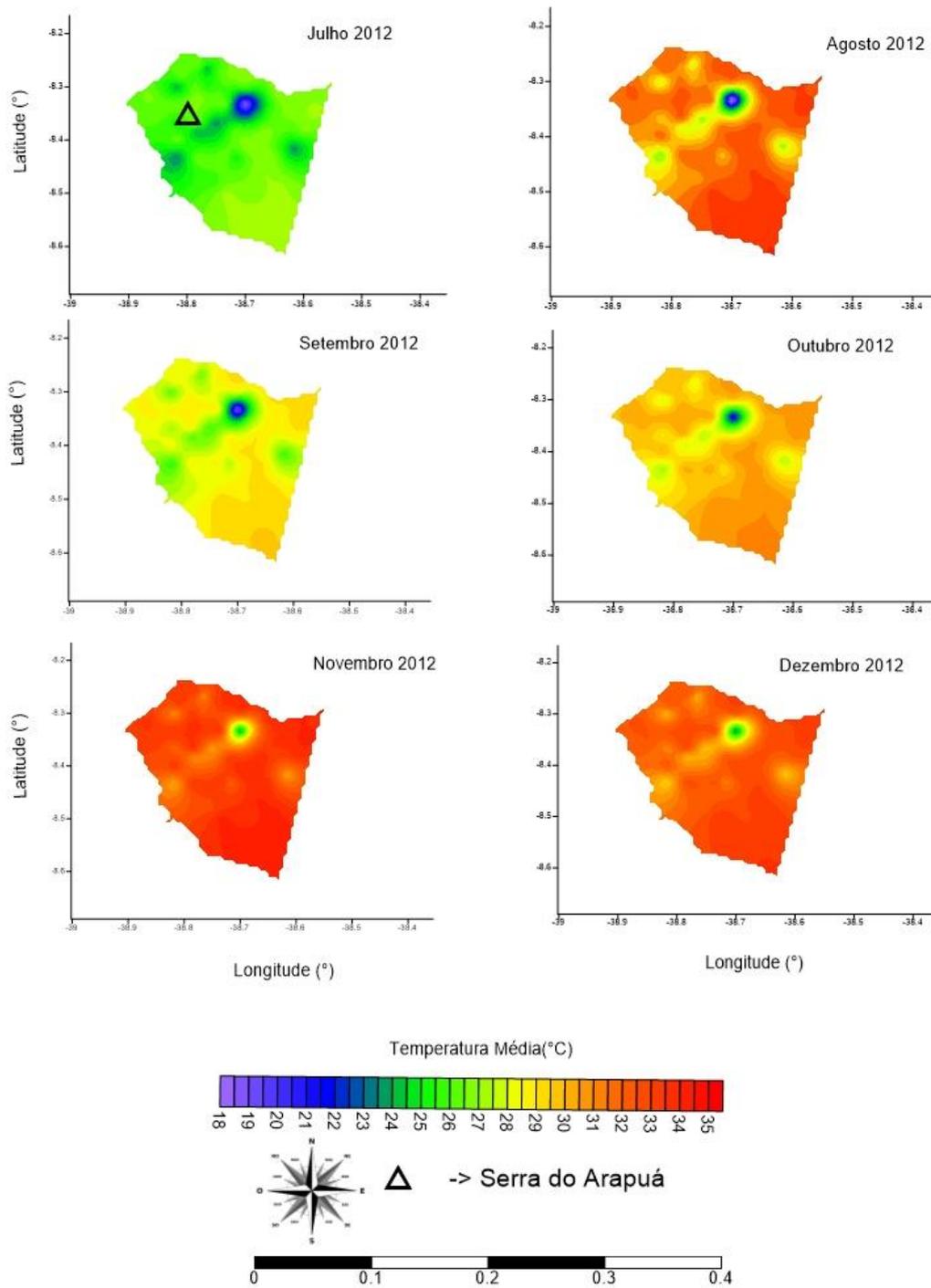


Figura 19. Cartas temáticas das temperaturas médias do ar (°C) de julho a dezembro de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

Regimes mensais de radiação solar global

As cartas temáticas das radiações solares globais mensais de 2006 são mostradas nas Figuras 19 e 20. A distribuição da radiação solar global (Rg) de janeiro/2006 variaram entre 546,0 W/m² a 579,0 W/m². Neste mês não teve variabilidade expressiva da Rg, devido a pequena amplitude de Rg em relação ao demais meses. Para fevereiro/2006, a Serra do Arapuá apresenta-se em tons amarelos com Rg oscilando entre 455,0 W/m² a 475,0 W/m². Em março/2006, observa-se uma diminuição espacial das Rg em todo o Município. A Serra do Arapuá não se apresenta com Rg entre 415,0 W/m² a 425,0 W/m².

Em abril/2006, a Serra do Arapuá destaca-se do restante do Município (cor verde claro) com próximas dos 395,0 W/m². As Rg de maio/2006 variaram entre 337,0 W/m² a 367,0 W/m², com valores mais baixos sobre a Serra do Arapuá (cor azul). Com o início do inverno em junho/2006, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Rg (258,0 W/m²). Percebe-se uma drástica redução das Rg em todo o Município. Em julho/2006, as Rg oscilam entre 310,0 W/m² a 335,0 W/m² e em agosto/2006 entre 416,0 W/m² a 450,0 W/m².

Na primavera, setembro/2006, as Rg iniciam variando entre 449,0 W/m² na Serra do Arapuá a 469,0 W/m² nas depressões do Município. As Rg vão aumentando no mês de outubro/2006 atingindo valores de 440,5 W/m² a 454,0 W/m². O final da primavera, novembro/2006, os dias apresentam Rg de 5,0 W/m² a 447,0 W/m². Em dezembro/2006, as Rg dos dias de verão variam entre 414,0 W/m² a 438,0 W/m². Ainda assim, a Serra do Arapuá apresenta os maiores valores de Rg.

Os resultados visualizados nas cartas desenvolvidas com os valores de R_g caracterizam bem a importância do relevo e sua influência na distribuição dessa variável na superfície, uma vez que, as regiões mais elevadas receberam, em média, uma menor quantidade de R_g , em torno de $370,0 \text{ W m}^{-2}$, com a maior exposição aos raios solares diretos.

Este fator topoclimático condiciona o terreno a diferentes exposições à radiação solar direta e, também, ao acúmulo de ar frio durante o inverno. Sabe-se, ainda, que os terrenos de meia-encosta voltados para o norte (no hemisfério Sul) recebem mais energia do que os voltados para o sul (SILVA, 2013). Já nas baixadas ocorre um maior acúmulo de ar frio durante o inverno, o que acaba condicionando redução da temperatura do solo também nessa área.

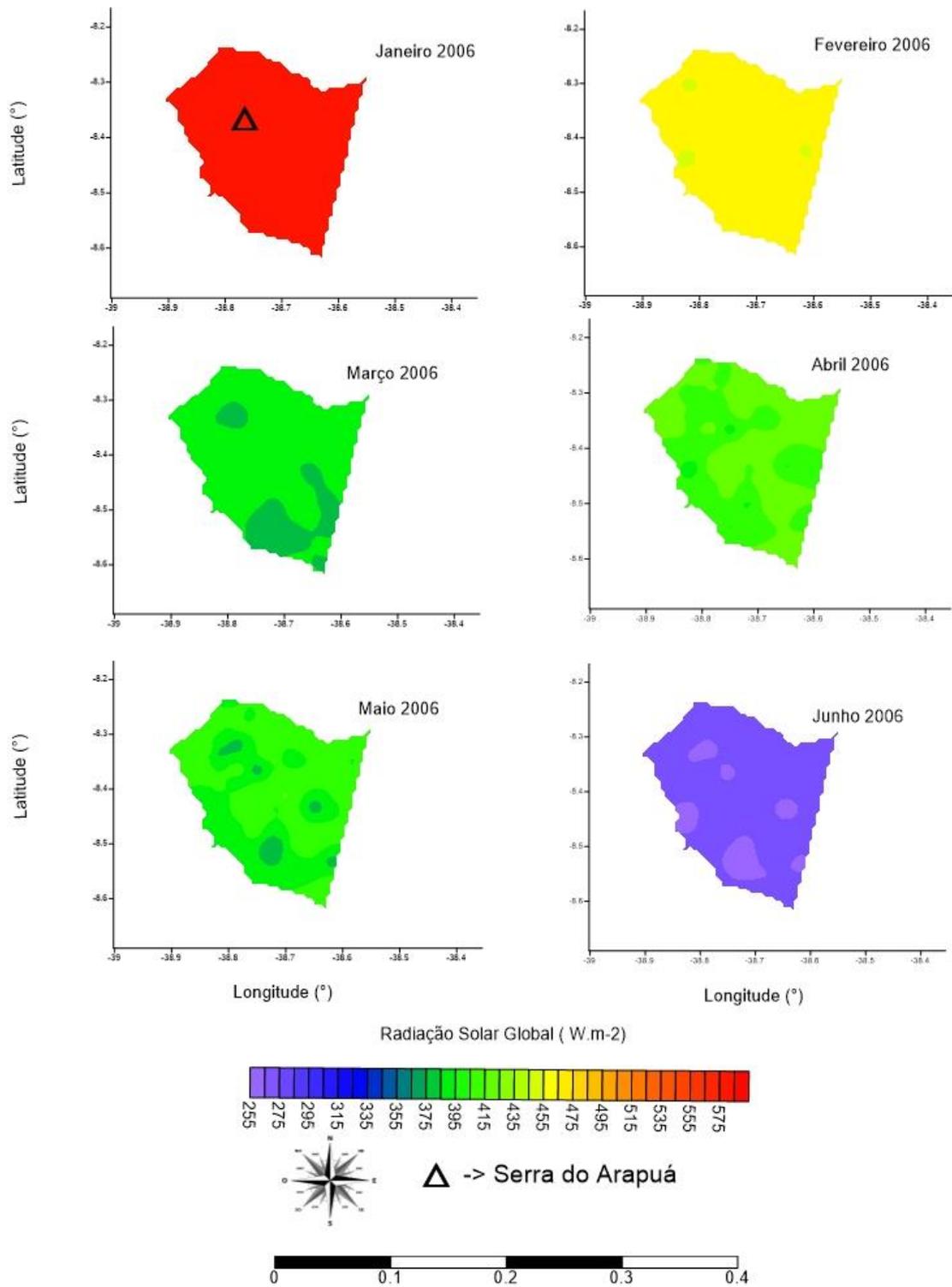


Figura 20. Cartas temáticas das radiações solares globais (W.m-2) de janeiro a junho de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

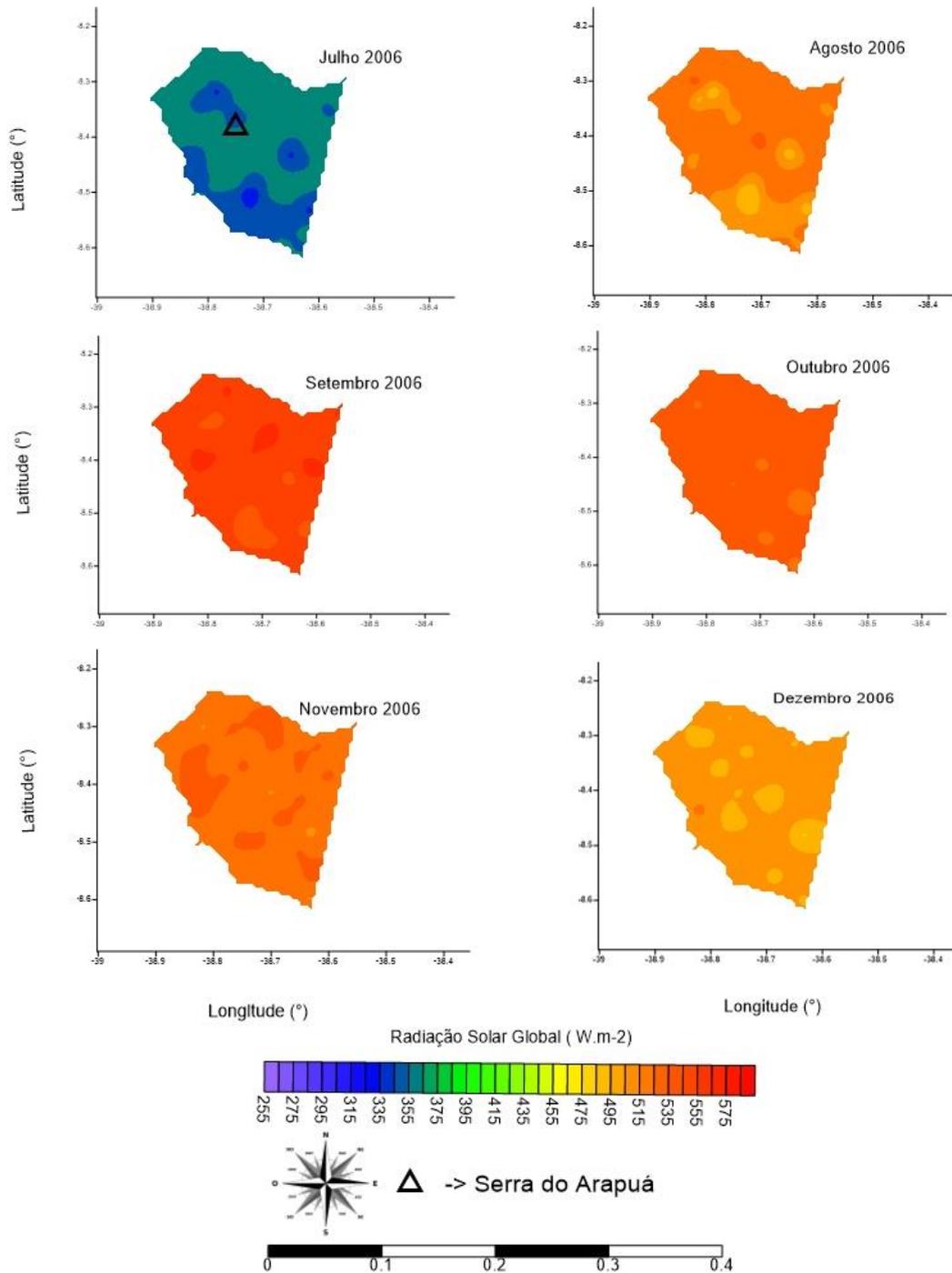


Figura 21. Cartas temáticas das radiações solares globais (W.m-2) de julho a dezembro de 2006 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha - PE.

As cartas temáticas das radiações solares globais mensais de 2012 são mostradas nas Figuras 21 e 22. A distribuição da radiação solar global (Rg) de janeiro/2012 variou entre 542,0 W/m² a 574,0 W/m², apresentando os maiores valores sobre a Serra do Arapuá (cor vermelha). Para fevereiro/2012, a Serra do Arapuá apresenta-se em tons verde claro com Rg oscilando entre 395,0 W/m² a 415,0 W/m², enquanto que os maiores valores (427,0 W/m²) encontram-se nos vales e nas planícies do Município. Em março/2012, observa-se uma diminuição espacial das Rg em todo o Município. A Serra do Arapuá apresenta-se bem destacada em tons de verde com Rg entre 360,0 W/m² a 365,0 W/m².

Em abril/2012, a Serra do Arapuá apresenta um pequeno núcleo (cor verde escuro) de aproximadamente 375,0 W/m². As Rg de maio/2012 variaram entre 355,0 W/m² a 375,0 W/m², com valores mais altos sobre a Serra do Arapuá (cor verde escuro) e a maior parte do Município. Com o início do inverno em junho/2012, a Serra do Arapuá apresenta os menores valores de Rg (260,0 W/m²). Percebe-se uma drástica redução das Rg em todo o Município. Em julho/2012, as Rg oscilam entre 294,0 W/m² a 321,0 W/m² e em agosto/2012 entre 386,0 W/m² a 410,0 W/m².

Na primavera, setembro/2012, as Rg iniciam variando entre 475,0 W/m² na Serra do Arapuá a 459,0 W/m² nas depressões do Município. Gradativamente, as Rg vão aumentando no mês de outubro/2012 atingindo valores de 455,0 W/m² a 466,0 W/m². O final da primavera, novembro/2012, os dias apresentam Rg de 419,5,0 W/m² a 434,5 W/m². Em dezembro/2012, as Rg dos dias de verão variam entre 420,0 W/m² a 439,0 W/m². Ainda assim, a Serra do Arapuá apresenta os maiores valores de Rg.

Vale ressaltar que a distribuição da radiação solar global ao longo do ano, depende também da mudança na posição aparente do Sol em relação ao planeta Terra. Estudos realizados por Lopes & Valeriano (2009) observaram que as encostas da Serra da Mantiqueira voltadas para o norte resfriam no inverno ($T_{\min} = 4,0^{\circ}\text{C}$ a $11,0^{\circ}\text{C}$) mais do que as voltadas para o sul no verão ($T_{\min} = 15,0^{\circ}\text{C}$ a $20,0^{\circ}\text{C}$). Esse efeito está associado ao maior sombreamento das encostas que ocasiona um menor acúmulo de R_g , efeito semelhante também pode ser verificado nesse estudo.

Com isso é fato afirmar que o efeito da topografia é o principal condicionante para uma maior ou menor intensidade de radiação solar na superfície terrestre, acompanhada da variação climática ao longo do ano. Uma vez que essa tendência foi verificada em todas as cartas observadas. O sombreamento ocasionado pelo movimento aparente do Sol em torno da serra propicia em alguns pontos da serra menores valores de R_g e, conseqüentemente, valores menos elevados de T_{\max} , T_{\min} e T_{med} . Para Oliphant et al. (2003), dias de céu aberto a topografia é o principal modelador da radiação solar global; em dias de céu nublado as nuvens atenuam a entrada de R_g , sobretudo nos locais de maiores altitudes. Esta diferença de radiação solar global é percebida nas encostas mais íngremes de serra que sofrem grandes variações sazonais em sua iluminação (Lopes et al., 2013). Segundo Lopes (2006) a inclusão de cobertura de nuvens na modelagem de radiação solar global reduz a incidência de radiação solar de aproximadamente 55%. Esta redução em R_g pode chegar a até 100% em dias de céu encoberto, dependendo do local considerado.

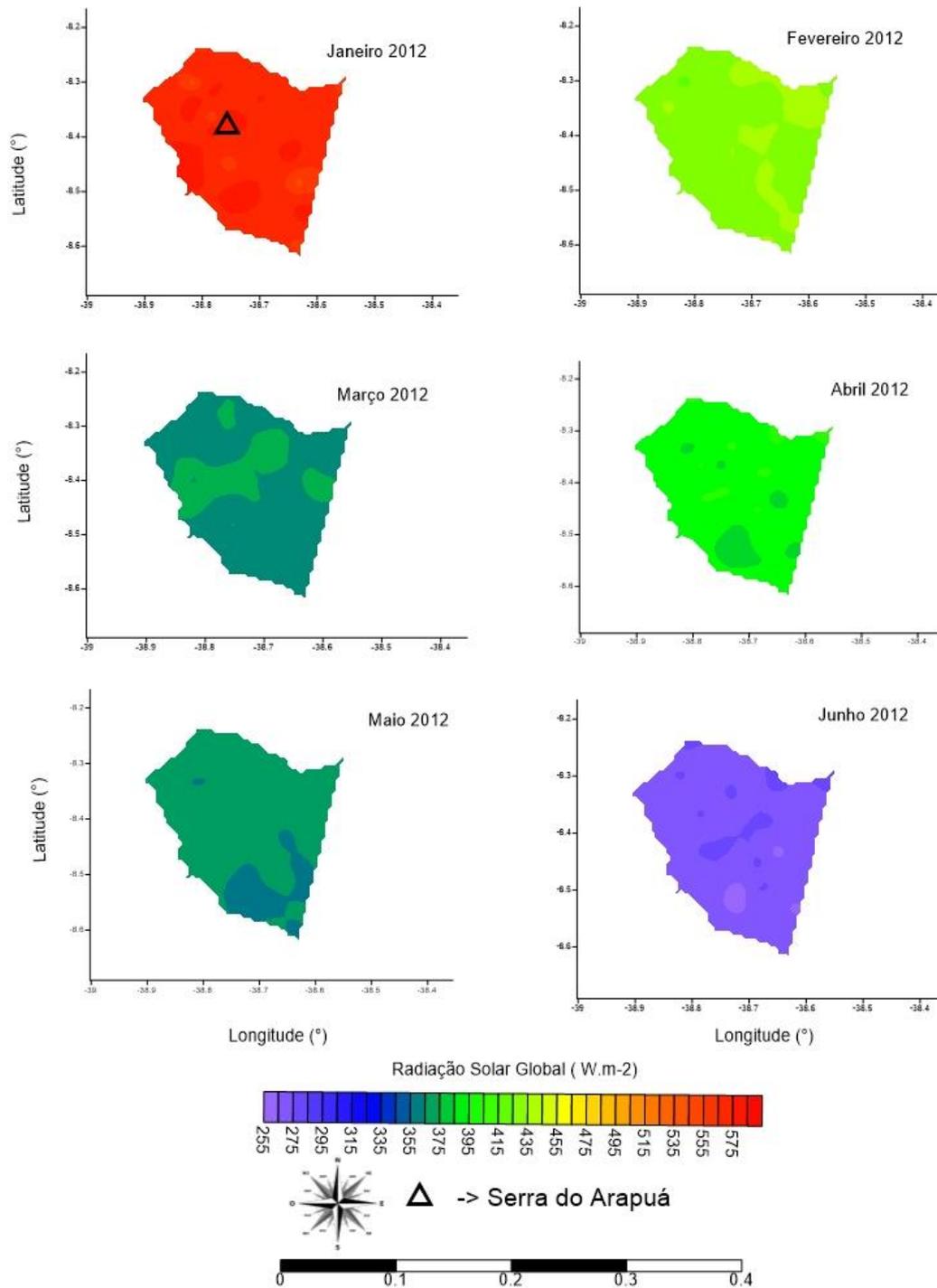


Figura 22. Cartas temáticas das radiações solares globais (W.m-2) de janeiro a junho de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha – PE.

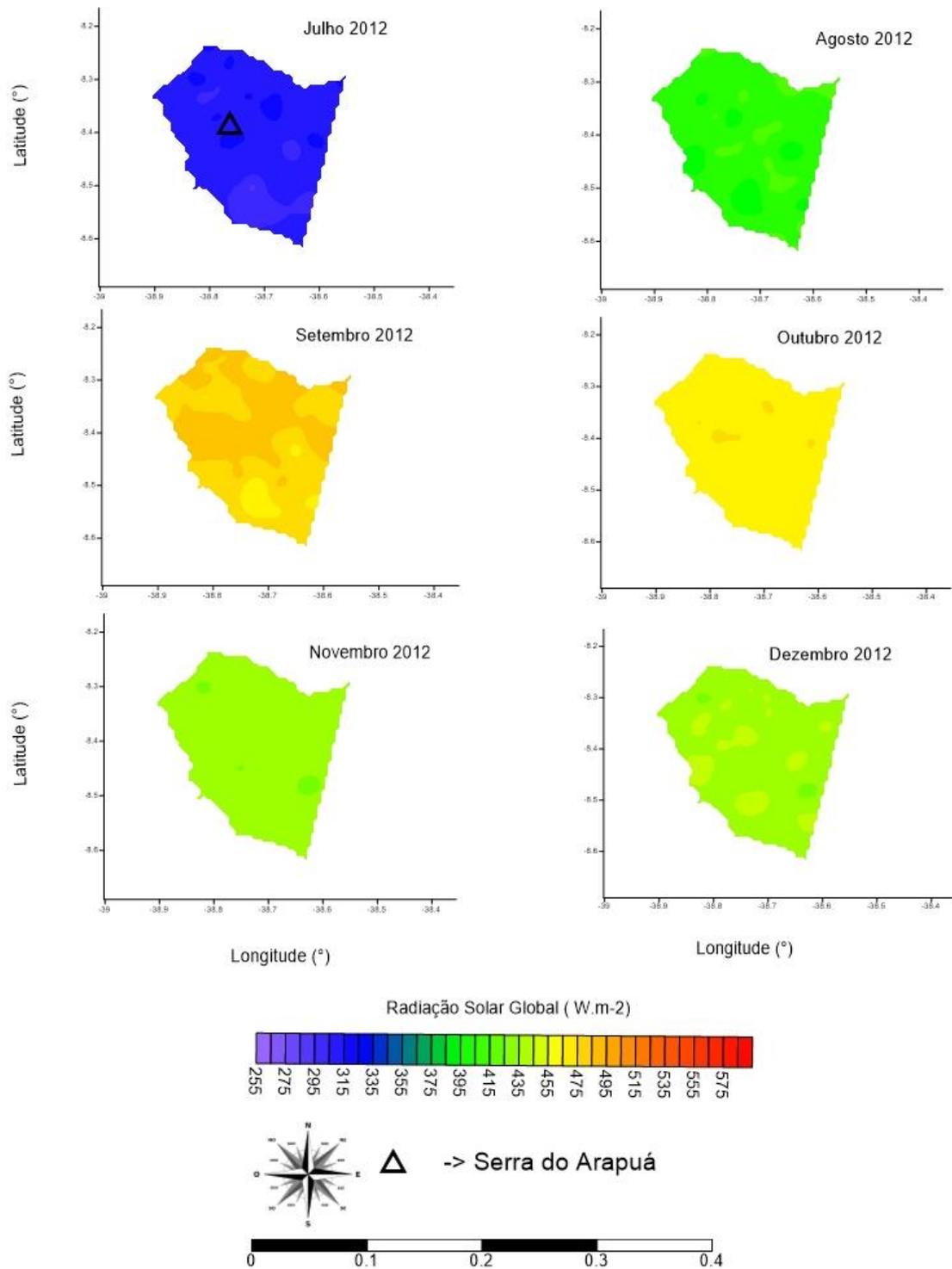


Figura 23. Cartas temáticas das radiações solares globais (W.m-2) de julho a dezembro de 2012 simuladas para o município de Carnaubeira da Penha – PE.

Cartas temáticas de albedo da superfície

As cartas temáticas de albedo de superfície mensais para o município de Carnaubeira da Penha para o ano de 2006 são mostradas nas Figuras 23 e 24. Nas cartas de janeiro/2006 e fevereiro/2006 ocorreram muitas falhas no produto albedo (áreas em branco e em amarelo), principalmente na região da Serra do Arapuá. Observou-se também que em janeiro/2006 e fevereiro/2006 que foram registrados na estação de floresta precipitações de 0,0 mm e de 20,25 mm, respectivamente.

Para os meses de março/2006 e abril/2006, a Serra do Arapuá apresentou valores de albedo da superfície entre 0,12 a 0,13 e 0,13 a 0,14, respectivamente. As áreas em verde escuro representam os menores valores de albedo que estão associados às serras e morros do Município, enquanto que as áreas em verde claro representam os maiores valores de albedo encontrados nos vales de Carnaubeira da Penha. Cunha et al. (2013) afirmam que os valores de albedo mais altos podem estar associados às superfícies de solo exposto (variando com o tipo de solo) enquanto que os valores mais baixos podem estar associados às áreas vegetadas. Observam-se, ainda, pixels em tons azul escuro associados a corpos hídricos que possuem albedo próximo de 0,05. Silva (2016) encontrou valores de albedo para os reservatórios Trussu (noroeste da imagem) e Orós (nordeste da imagem) na ordem de 0,01 a 0,13 e Silva et al (2005) estimaram albedo na ordem de 9 a 12% diante dos reservatórios, nos Municípios de Petrolina – PE e Juazeiro – BA.

As chuvas registradas em março/2006 foram de 189,5 mm e em abril/2006 de 66,0 mm. Vale ressaltar que o período chuvoso do município de Carnaubeira da Penha inicia se em novembro até abril, com maior precipitação acumulada em março e abril. Isso promove a manutenção do dossel e a precipitação depositada a superfície da

vegetação nos meses mais chuvosos reduziu o poder de reflexão do dossel vegetativo da área de estudo. Para o mês de maio/2006, a coloração verde claro do albedo da Serra do Arapuá se confunde com a de sua vizinhança, devido a baixa precipitação registrada na região (estação de floresta 5,0 mm). Em junho/2006, a Serra do Arapuá apresenta área de albedo com coloração verde escura diferente da sua vizinhança. Essa diferenciação de albedo das regiões serranas em relação aos vales e terras baixas pode estar associada ao aumento da precipitação mensal observada em floresta foi de 20,75 mm. Cunha et al (2013) observaram que, em média, os menores (maiores) valores de albedo são observados nos meses mais secos (úmidos) na região de estudo.

Nos meses de julho/2006 a dezembro/2006 (Figura 21) observam-se também, especialmente, que o albedo varia muito na área de estudo. Para Cunha et al (2013) o albedo, além de variar espacialmente e temporalmente em função da natureza da superfície, também varia em função do ângulo de elevação e do azimute solar (variação sazonal), que ocorre devido à variação da declinação solar. Assim, esses resultados podem estar associados às diferentes intensidades de radiação solar incidente nos meses de verão e inverno. Giongo (2008), analisando diversas imagens sequenciadas, encontrou, para culturas irrigadas no estado do Ceará, grandes alterações no albedo de diferentes alvos, quando comparados às cartas de todo o período. O mesmo também afirma que a variação anual sofrida pelo albedo é fonte de diversos fatores, dentre eles a precipitação e a variação na composição da cobertura. Lopes *et al.* (2013) também relatam que ângulo zenital solar, elevação, rugosidade da superfície que favorece a formação de sombras podem influenciar diretamente na variação do albedo.

Na Serra do Arapuá, os valores de albedo que foram mais encontrados ficaram na faixa de 0,14 – 0,15, indicando grande presença de vegetação (OKE, 1978), isso se da

principalmente porque essa região é caracterizada como um brejo de altitude que tem por principal características árvores de porte médio a alto bem semelhantes a mata atlântica encontrada no litoral do Brasil (PORTO et al., 2004).

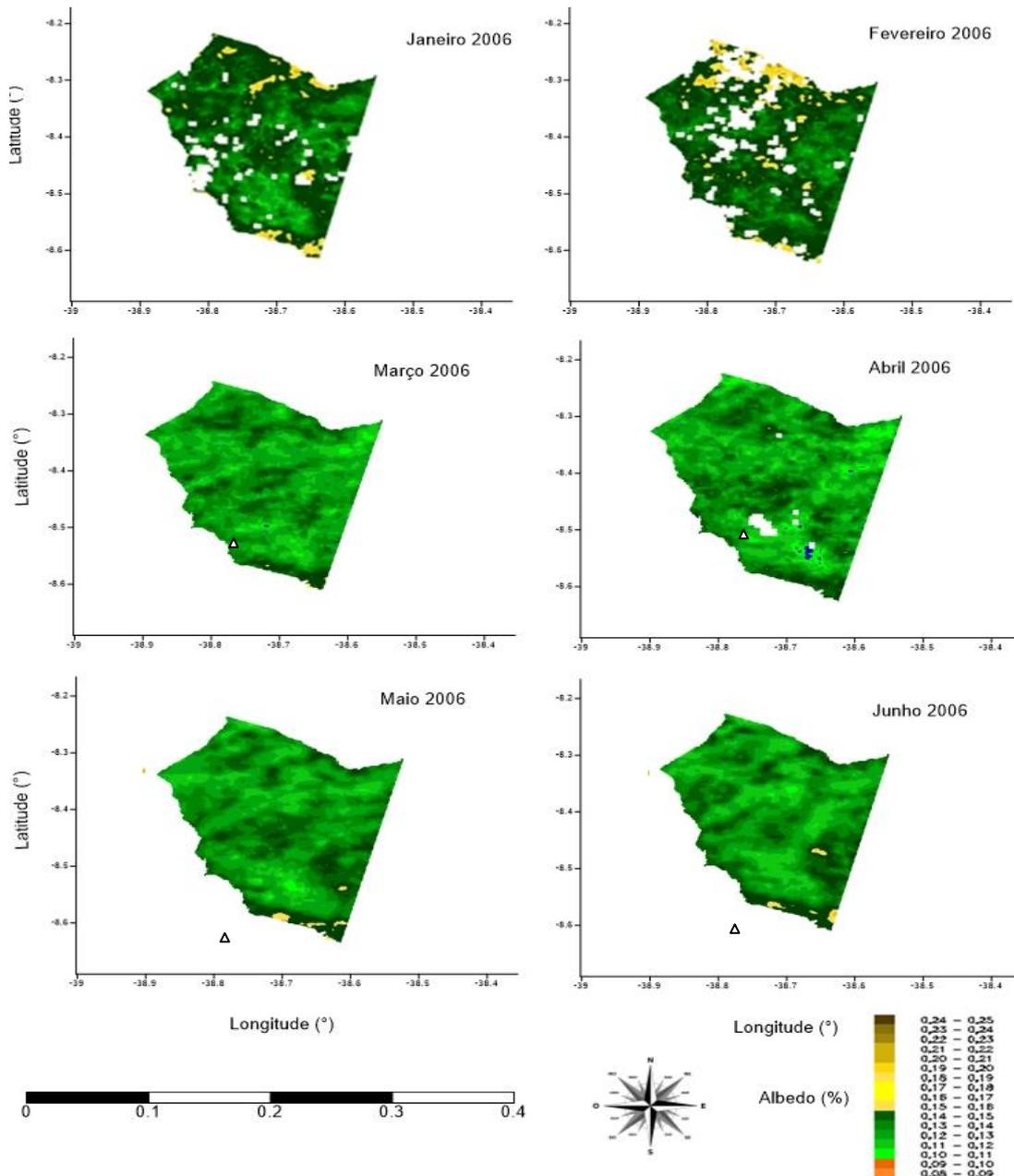


Figura 24. Cartas de albedo de superfície utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

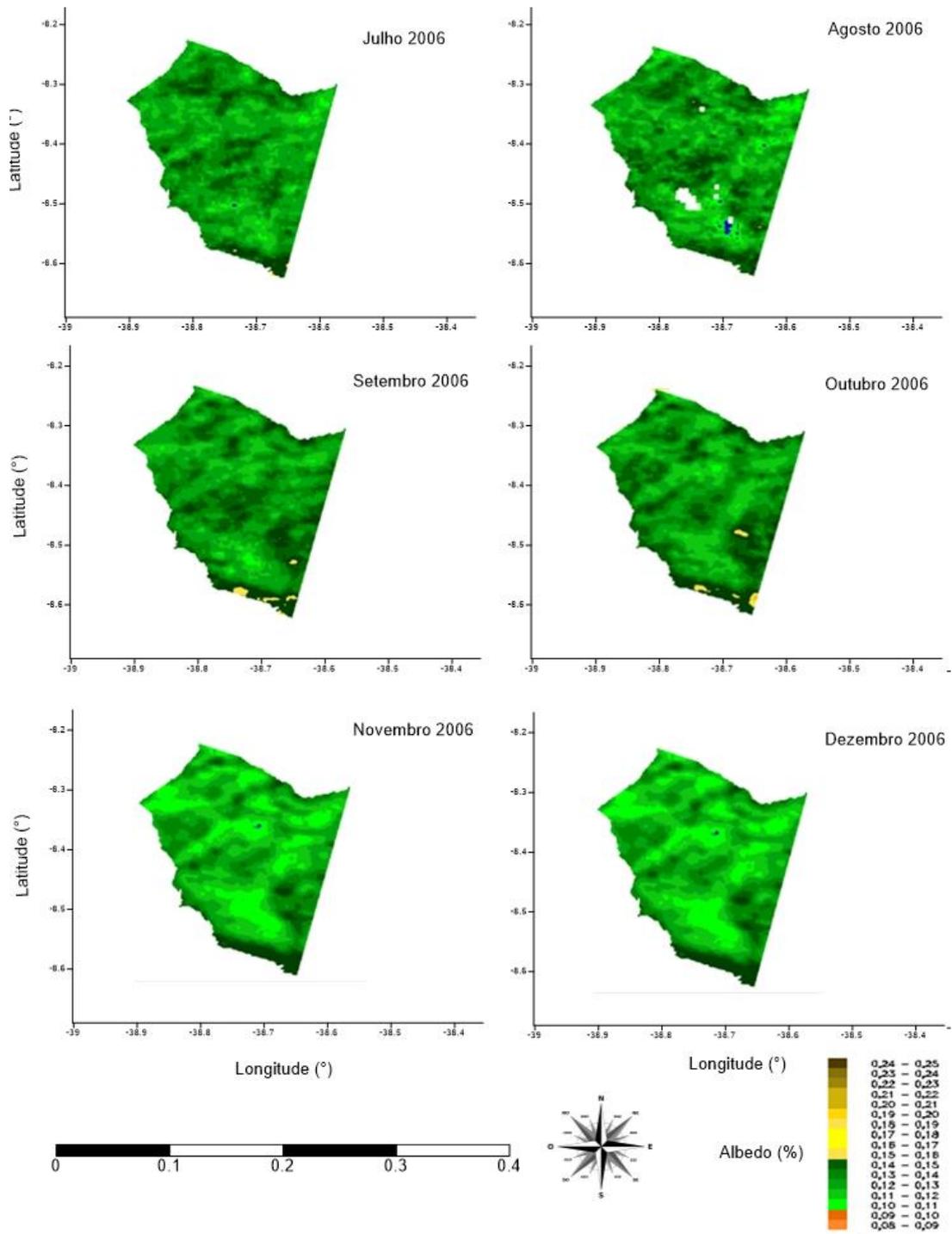


Figura 25. Cartas de albedo de superfície utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

Nas cartas apresentadas para o município de Carnaubeira da Penha no ano de 2012 (Figura 25 e 26) ficam evidentes o aumento dos valores de albedo em comparação com 2006, principalmente, para o primeiro e último mês da série. Isto justifica-se pela seca que estabeleceu-se a partir de dezembro/2011 até dezembro/2012. Nesse período, o acumulado de precipitação na região, não ultrapassou os 500 mm, resultando no estresse hídrico vegetativo e conseqüentemente na baixa produtividade vegetal (Marengo et al., 2016). Segundo Correia *et al.* (2002), os valores elevados de albedo de superfície estão geralmente associados a superfícies suaves, secas e de coloração clara, enquanto que albedos menores são associados a superfícies rugosas, úmidas e de coloração escura, evidenciando dessa forma a importância e a influência da precipitação nessa variável, uma vez que seu menor volume nesse período agravou a situação da vegetação do local.

Esse aumento é consequência do baixo volume precipitado no ano de 2011 (234 mm para o período de estudo) e principalmente em 2012 (76,9 mm para o período de estudo) que foi o ano em análise, elevando assim o tamanho das áreas expostas da região, que segundo Oliveira *et al.* (2010) apresentam grande reflectividade em comparação com áreas que apresentam uma maior quantidade de vegetação. Esse aumento é ainda mais importante quando tratamos de degradação dos solos presentes no local de estudo, uma vez que, esse aumento é um indicativo de que mais áreas estão expostas a serem degradadas pelos agentes intempéries e antrópicos.

Para a região da Serra do Arapuá os valores de albedo encontrados ficaram na faixa entre 0,14 – 0,15, mostrando a grande resistência dessa área a sua mudança de paisagem mesmo com baixos volumes precipitados. É importante salientar que, essa região apresenta algumas áreas com valores relativamente elevados de albedo 0,18 –

0,19 mostrando que mesmo se tratando de uma área de preservação existem riscos de que o solo sofra degradação.

Contudo, o albedo da região foi influenciado principalmente pela presença da chuva nos dois cenários 2006 e 2012, ficando evidenciado que a região da Serra do Arapuá foi a que menos sofreu nos períodos estudados, uma vez que, a variação do albedo nessa área foi menor, promovendo de forma consequente a esses efeitos, melhores condições de clima para o desenvolvimento vegetal do lugar.

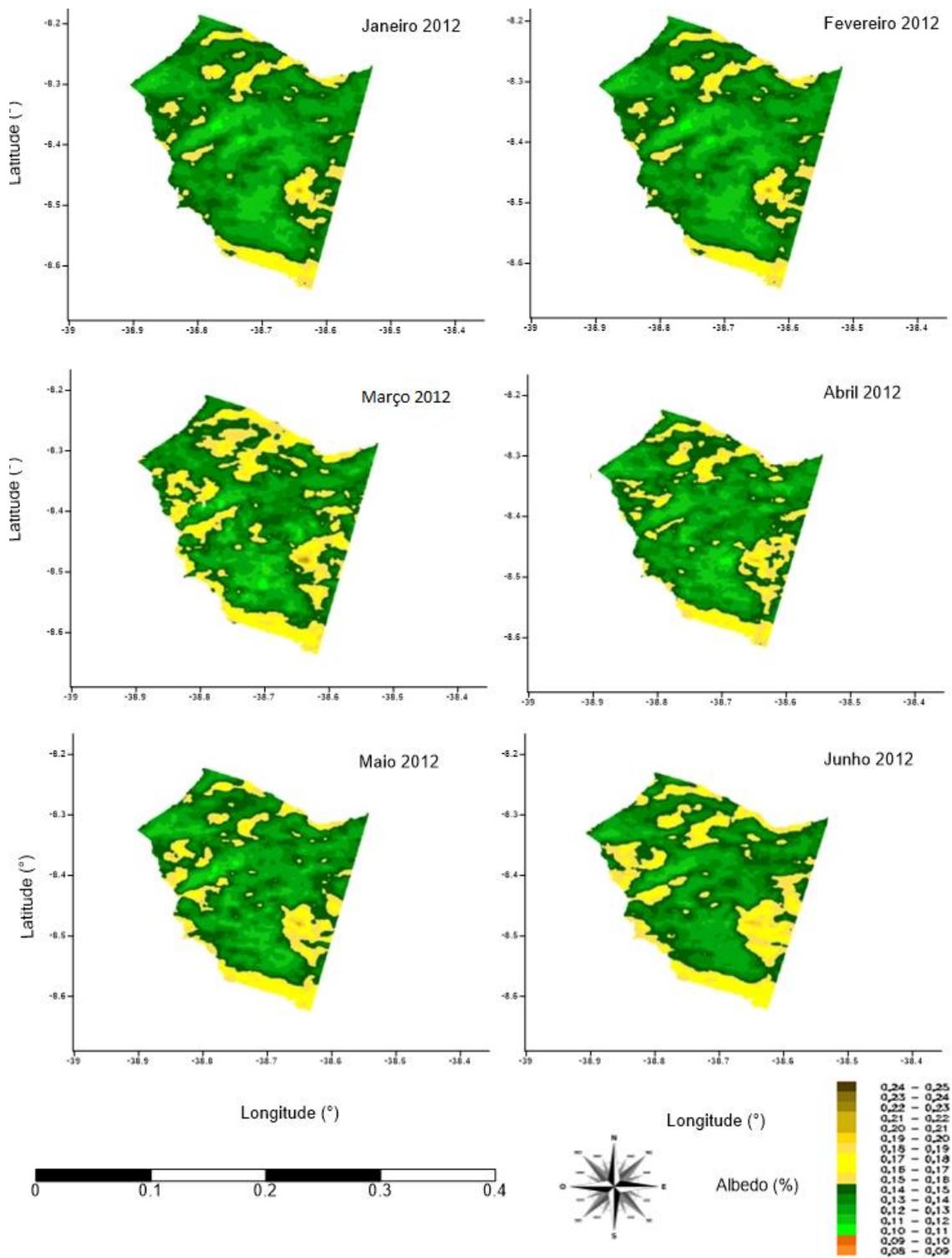


Figura 26. Cartas de albedo de superfície utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

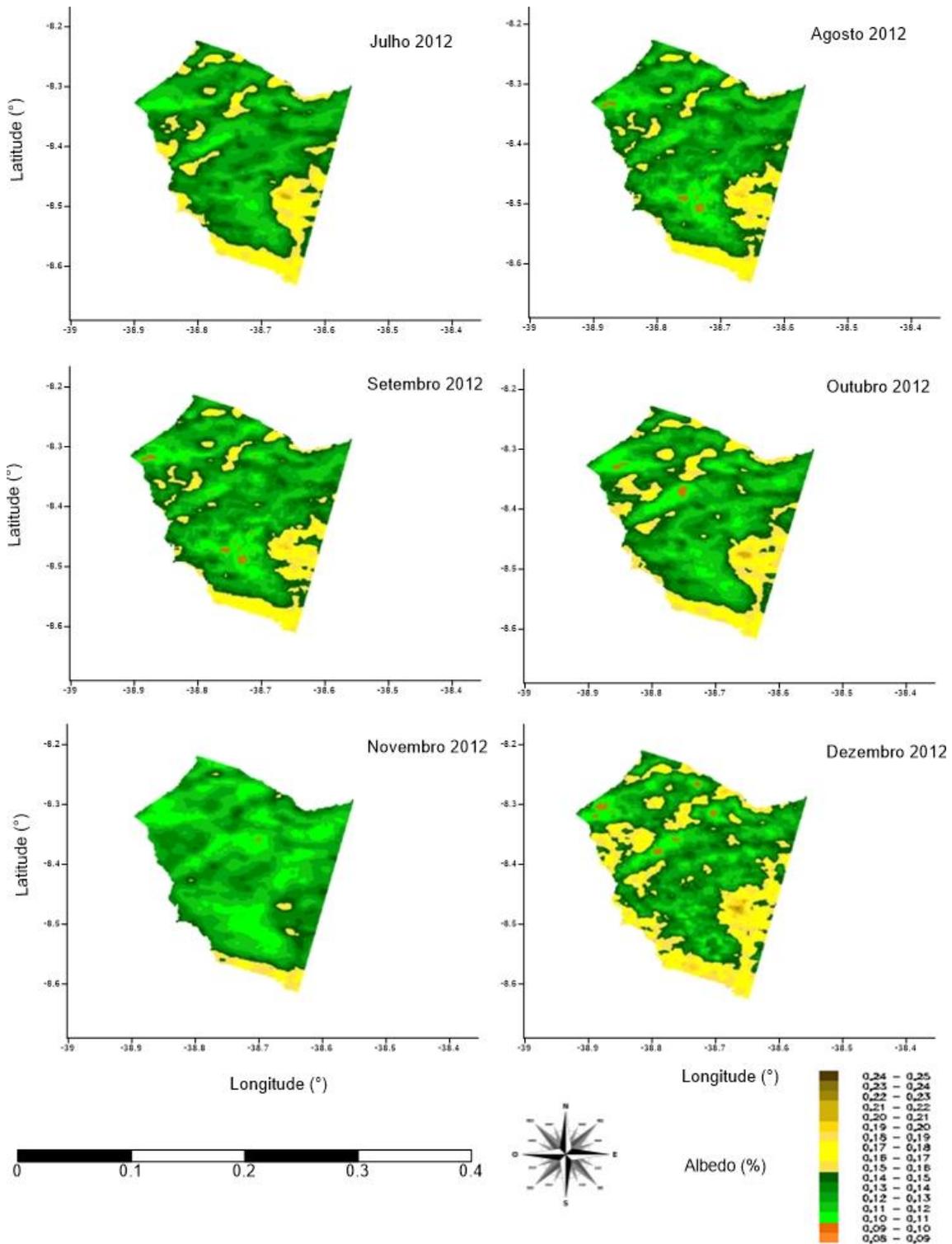


Figura 27. Cartas de albedo de superfície utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

Cartas de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

As cartas temáticas de NDVI para o ano de 2006 (Figuras 27 e 28) em Carnaubeira da Penha demonstram que a maior parte da vegetação é encontrada, principalmente, para o primeiro mês, próximo à Serra do Arapuá, evidenciando assim sua influência no bioma da região mesmo com períodos de menor volume hídrico, sendo os valores mais baixos encontrados a medida que se afasta dessa área. Silva (2016) evidenciou que em período mais seco a vegetação formada por caatinga caracteriza-se pela queda das folhas e, com isso, o NDVI é afetado significativamente.

No início do período (Figura 27) avaliado como ainda as chuvas na região encontram-se em baixos volumes, os valores de NDVI concentram-se nas faixas entre 0,15 – 0,20 e 0,20 – 0,40, ou seja, valores de NDVI baixos e médios, que correspondem à aproximadamente 60% de toda área de estudo. De acordo com (HUETE E TUCKER 1991), os valores de NDVI para solo exposto estão geralmente 0,05 e 0,30, porém, devido às propriedades óticas do solo não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação. Silva (2016) afirma que os menores valores de NDVI estão relacionados com as áreas de solo exposto e urbana do município de Iguatu, bem como nas demais áreas impermeabilizadas.

A região da Serra do Arapuá (Figuras 27 e 28) concentra os maiores valores de NDVI nas faixas de 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80 correspondentes as categorias de dossel alto e moderadamente alto, essas duas últimas categorias correspondem a cerca de 33% de toda área. Isso se dá principalmente pela vegetação presente na Serra do Arapuá, que em sua maior parte são constituídas de mata e áreas de cultivos agrícolas que apresentam grandes valores de NDVI.

À medida que o período chuvoso da região aumenta sua intensidade, ocorre uma elevação considerável nos valores de NDVI (Figura 27), isso fica ainda mais evidente quando observamos as referentes aos meses de março e abril, onde o volume precipitado aproximou-se dos 300 mm, estando assim bem dentro da média histórica da região. Foi constatado também que cerca de 85% da área nesse período era ocupada por uma vegetação entre as faixas 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80 que corresponde a valores moderadamente altos e altos de NDVI. Essa variável é muito importante na compreensão do desenvolvimento das espécies vegetais, onde se utilizam os valores de NDVI para a obtenção da evapotranspiração real das culturas agrícolas (BEZERRA et al., 2010).

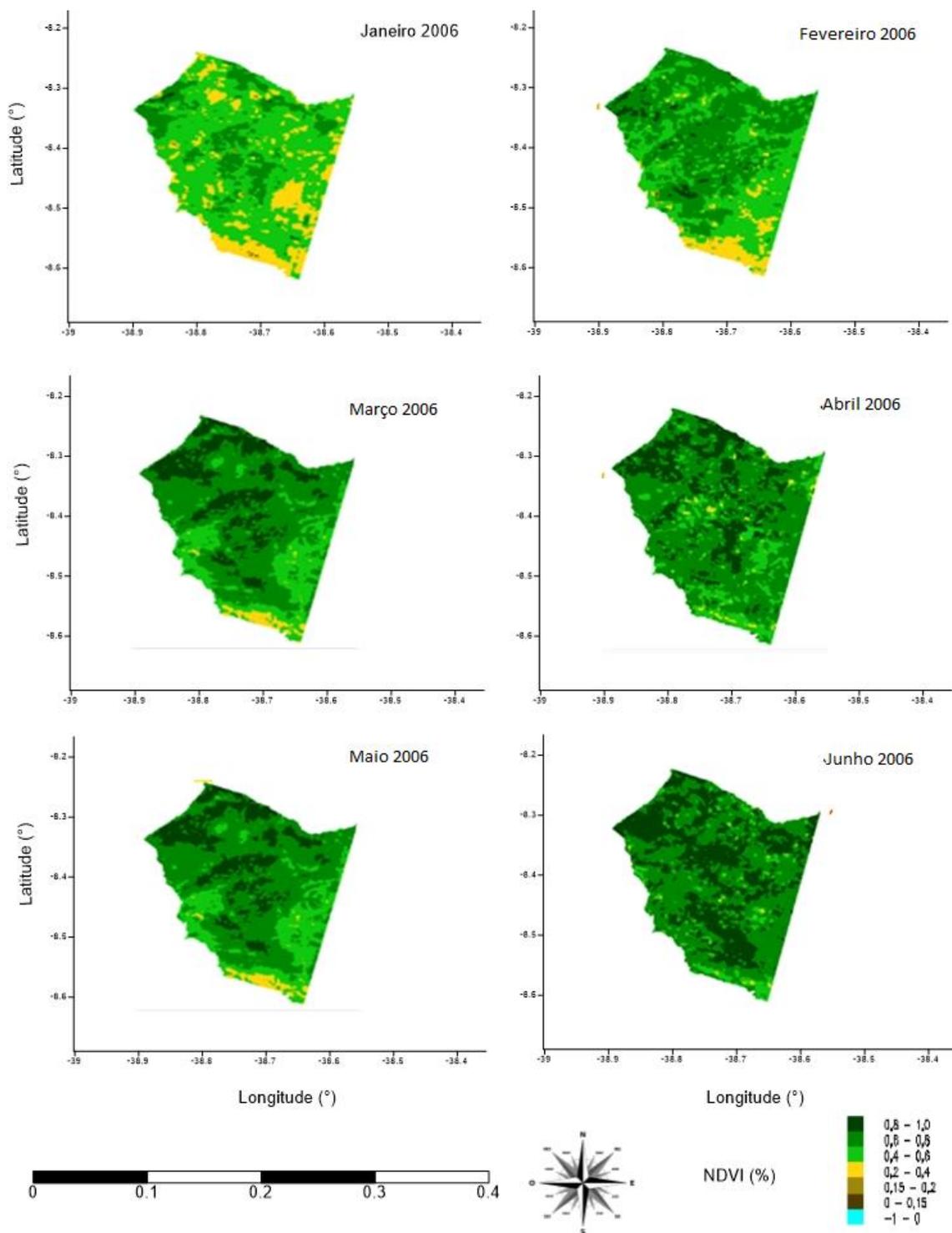


Figura 28. Cartas de NDVI utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

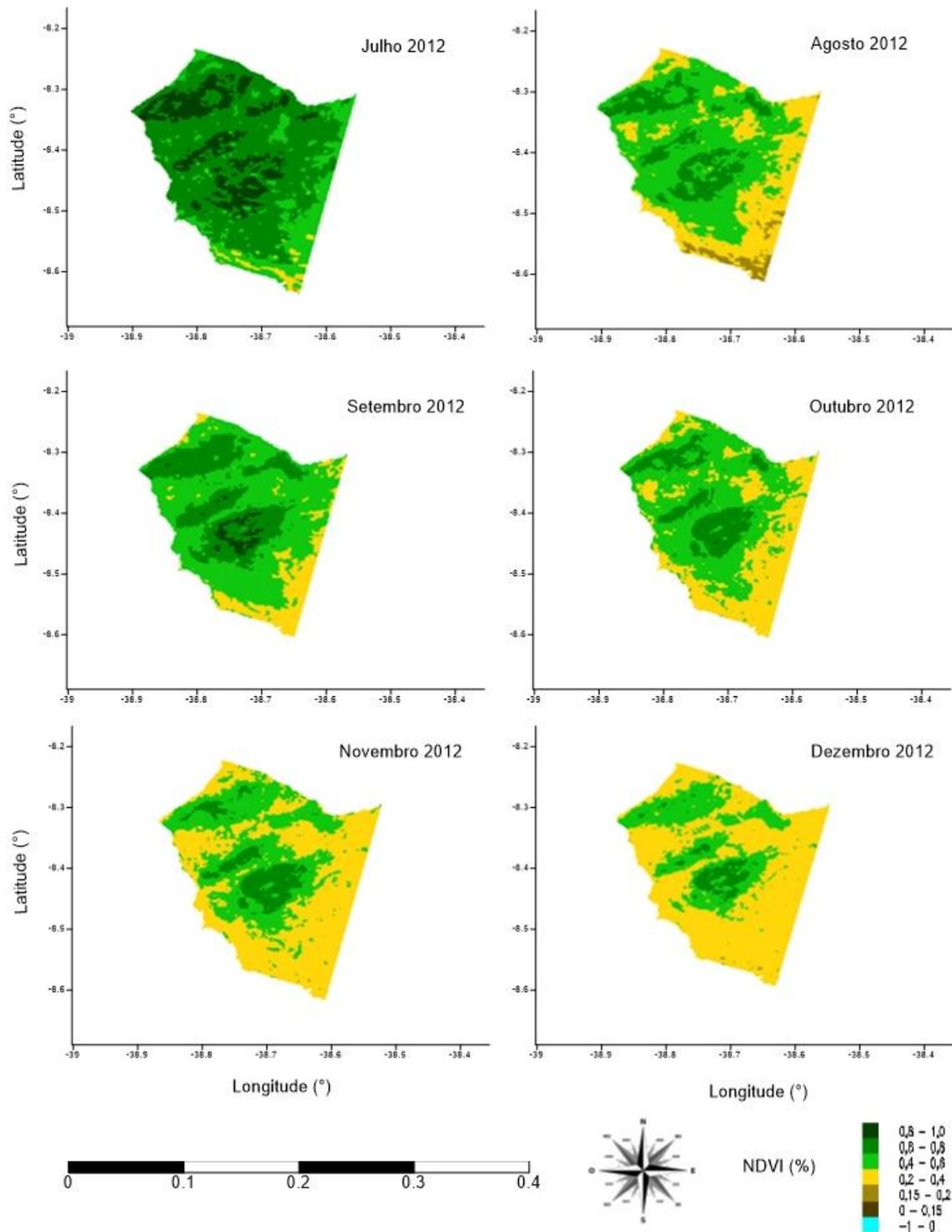


Figura 29. Cartas de NDVI utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

Verificando as cartas para o período chuvoso do ano de 2012 (Figura 29), constatou-se uma grande diminuição nos valores de NDVI para o município de Carnaubeira da Penha e Serra do Arapuá. Os menores valores foram encontrados para os primeiros 16 dias do mês de fevereiro apresentando cerca de 50% de todo o município na faixa entre 0,20 – 0,40 que são valores médios. Foram encontrados valores muito altos apenas na região da Serra do Arapuá, cerca de 0,03%, no restante dessa região foi constatado valores altos de NDVI, esse resultado é justificado pelo maior porte das plantas presentes nessa área, uma vez que, segundo Bezerra *et al.* (2010) plantas com um maior tamanho apresentam também maiores valores de NDVI.

Mesmo o período chuvoso para o ano de 2012 (Figura 30) sendo bem abaixo da média histórica o NDVI aumentou com as chuvas ocorrentes na região, mostrando o grande poder de resiliência que as plantas da Caatinga apresentam. Valores semelhantes aos encontrados nesse trabalho foram obtidos por Formigoni *et al.* (2007) que obtiveram NDVI de 0,8, para o período chuvoso, respectivamente e, valor médio de 0,25. Silva *et al.* (2009), estudando essa variável, encontram para o município de Floresta - PE nos anos de 1994, 1997 e 2001 valores médios próximos a 0,30. Valores semelhantes foram encontrados nesse estudo, principalmente para os 16 primeiros dias do mês de fevereiro em decorrência do longo período de estiagem que ocorria desde o ano de 2011.

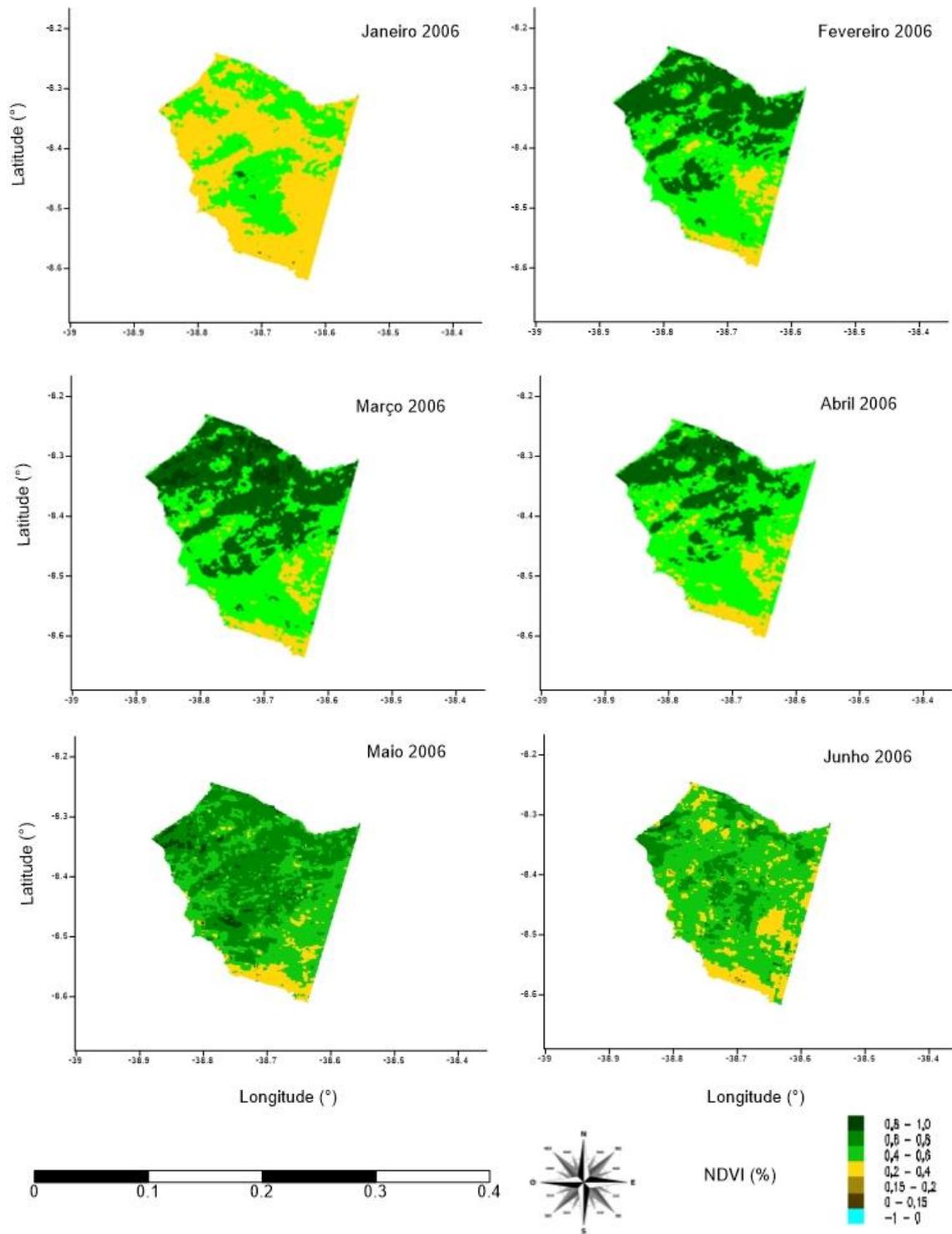


Figura 30. Cartas de NDVI utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

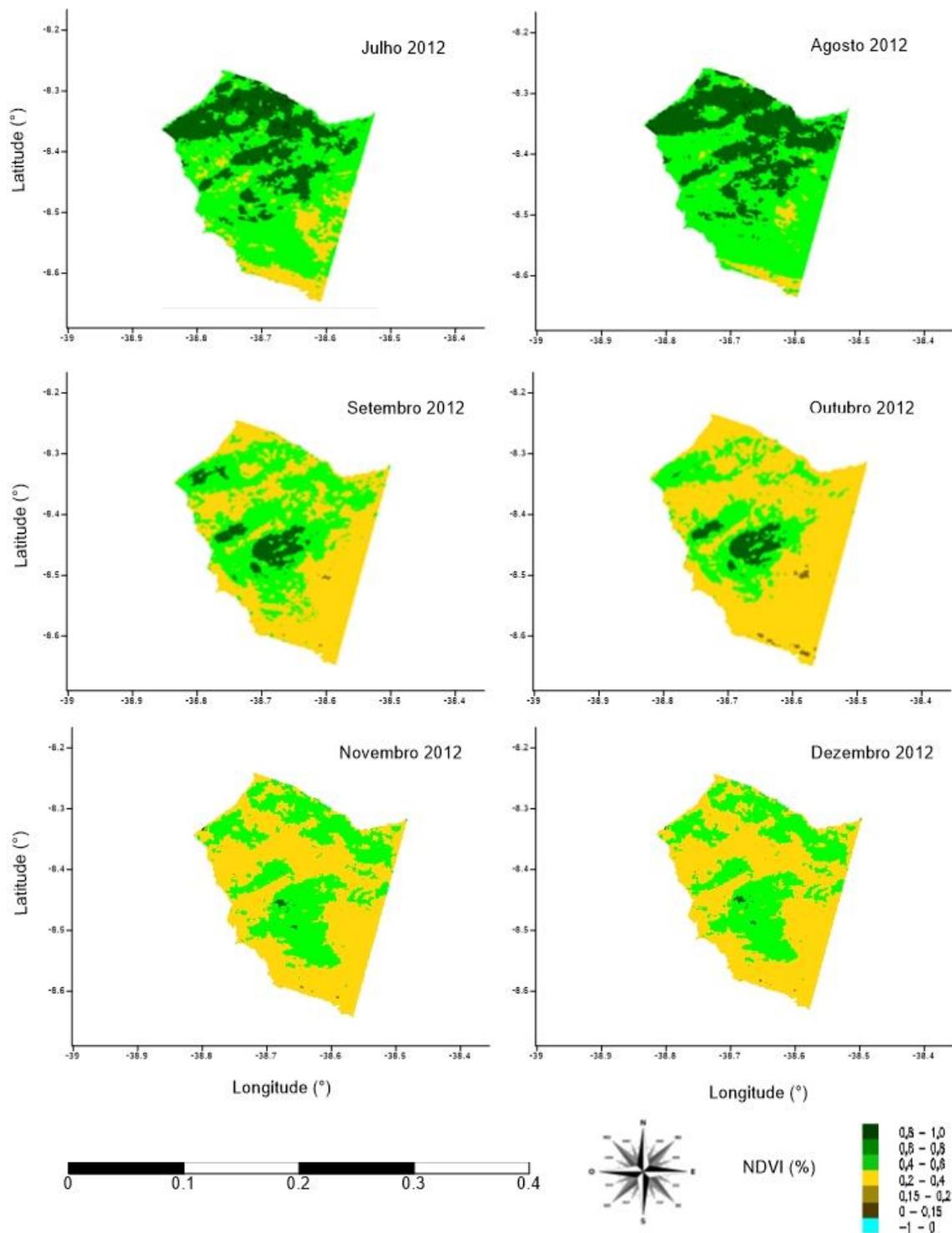


Figura 31. Cartas de NDVI utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

Cartas de fração de solo coberto por vegetação (FC)

As cartas temáticas criadas para avaliar a FC (Figuras 31 e 32) no município de Carnaubeira da Penha para o período chuvoso do ano de 2006 demonstram que ao longo de toda época avaliada a quantidade de vegetação encontrada sobre a superfície é consideravelmente boa. Cerca de 60% de toda área do Município é coberta, principalmente, por uma alta ou muito alta cobertura do solo, abrangendo as faixas entre 0,60 – 1,0. Isso tem um grande significado quando se pensa em conservação de solos e erosão hídrica, que na maioria das regiões semiáridas atingem grandes áreas, principalmente pela falta de vegetação quando o período chuvoso ocorre.

Quando observado os valores de FC encontrados sobre a Serra do Arapuá, a grande maioria encontra-se nas faixas entre 0,60-0,80 (alta) e 0,8 -1 (muito alta), esses resultados se dão principalmente pela composição vegetal sobre a serra que em sua maioria é composta por grandes árvores, sendo encontrado valores baixos de FC, em áreas que são destinadas a produção de caprinos e ovinos que nesse região é encontrada em grandes quantidades, onde cerca de 71.000 animais são criados (SOBER 2013). É importante salientar que o sombreamento causado pela cobertura vegetal pode influenciar de forma positiva ou negativa (Superestimando ou Subestimando) na determinação tanto da FC quanto do NDVI (POUZONI, 2012).

Segundo Anderson et al. (2003), quando observado as mudanças na vegetação em uma escala global, vem ocorrendo em um passo acelerado, principalmente nos trópicos. De toda forma é muito importante estudos dessa natureza, uma vez que, não só a produção agrícola influencia nessa diminuição da área vegetada, alguns autores chamam atenção para outros tipos de uso de solo que influenciam grandemente essas mudanças, as queimadas (CUNHA, 1994), abertura e pavimentação de rodovias (ACHARD et al.,

1998), o desmatamento (ALVES, 2001), e a expansão da fronteira agrícola (SILVEIRA JÚNIOR et al., 2001; SOARES FILHO et al., 2001).

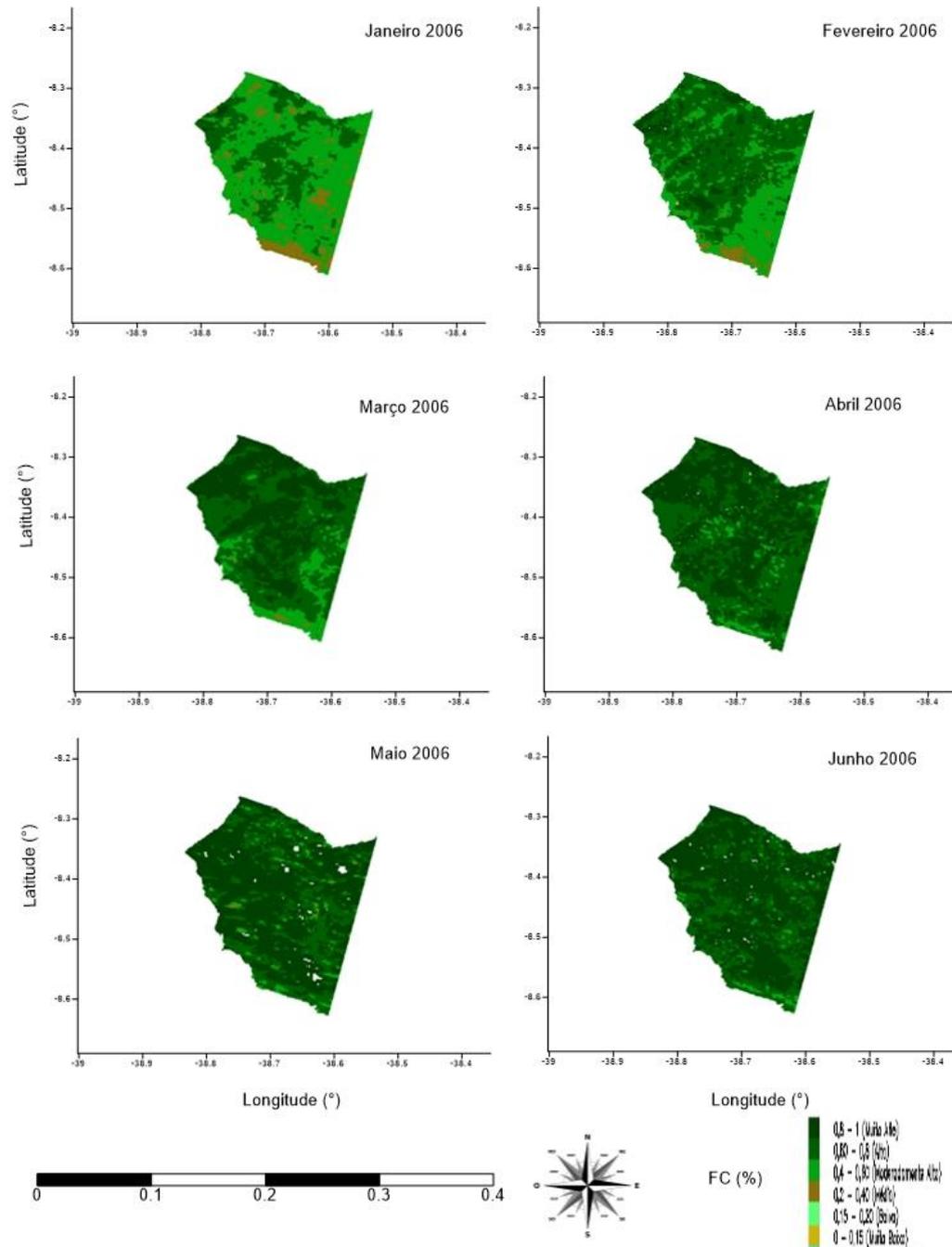


Figura 32. Cartas de Fração de solo coberta (FC) por vegetação utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006, no município de Carnaubeira da Penha - PE.

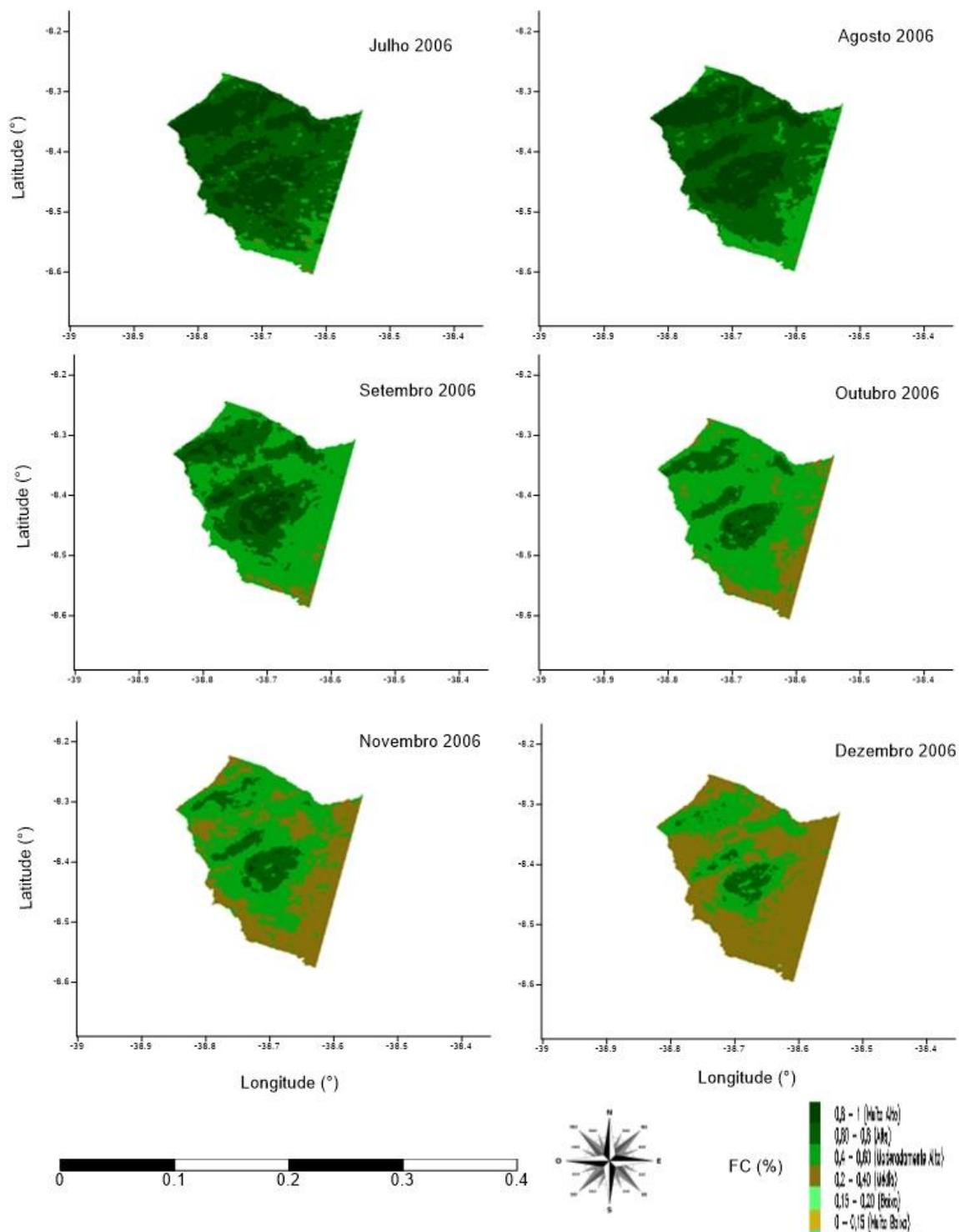


Figura 33. Cartas de Fração de solo coberta por vegetação (FC) utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006, no município de Carnaubeira da Penha - PE.

Quando verificamos as cartas temáticas de FC para o mesmo período do ano de 2012 (Figuras 33 e 34), é notável uma considerável diminuição dessas áreas cobertas por vegetação, principalmente, quando observamos os primeiros 16 dias do mês de fevereiro onde, aproximadamente 70% de todo o Município apresenta valores de FC muito baixos. É importante salientar que apenas para a região da Serra do Arapuá foram encontrado valores moderadamente altos de FC cerca de 15%. A falta de chuva e a perda das folhas pelas plantas da caatinga são os principais motivos encontrados para justificar esses valores baixos de FC.

De toda forma com o aumento dos volumes de água na região, a FC apresentou um aumento considerável, para o mês de março, proporcionando um aumento na casa de 16% e 25%, para as classes moderadamente alta e alta, tornando os solos menos expostos e uma maior disponibilidade alimentar para os rebanhos e populações que tem como base alimentar os vegetais. Sendo assim como o NDVI os valores de FC apresentam as mesmas tendências de superestimar a cobertura vegetal, tendo os maiores valores encontrado no período chuvoso do ano de 2006 em comparação com 2012.

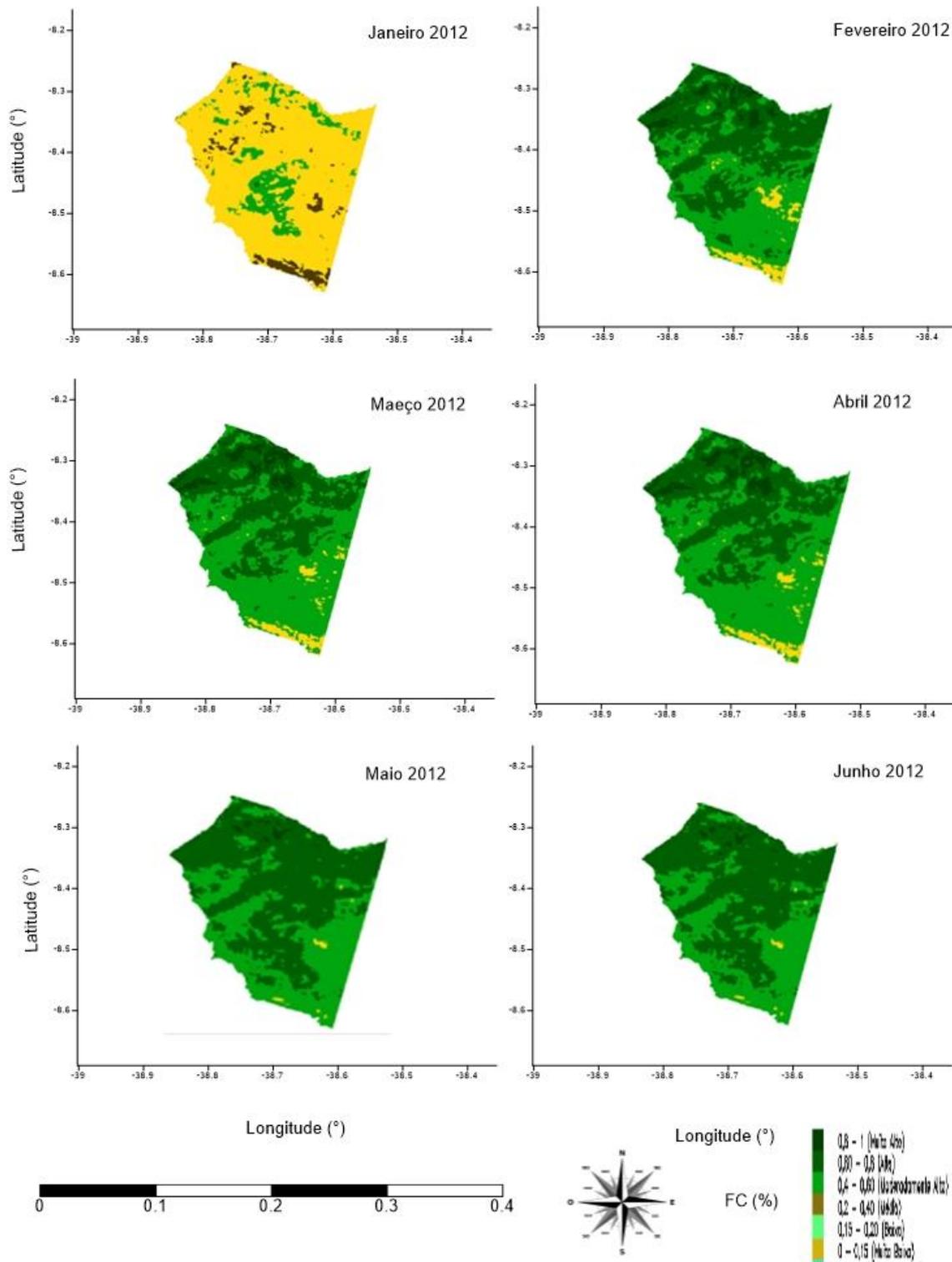


Figura 34. Cartas de Fração de solo coberta por vegetação utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012, no município de Carnaubeira da Penha - PE.

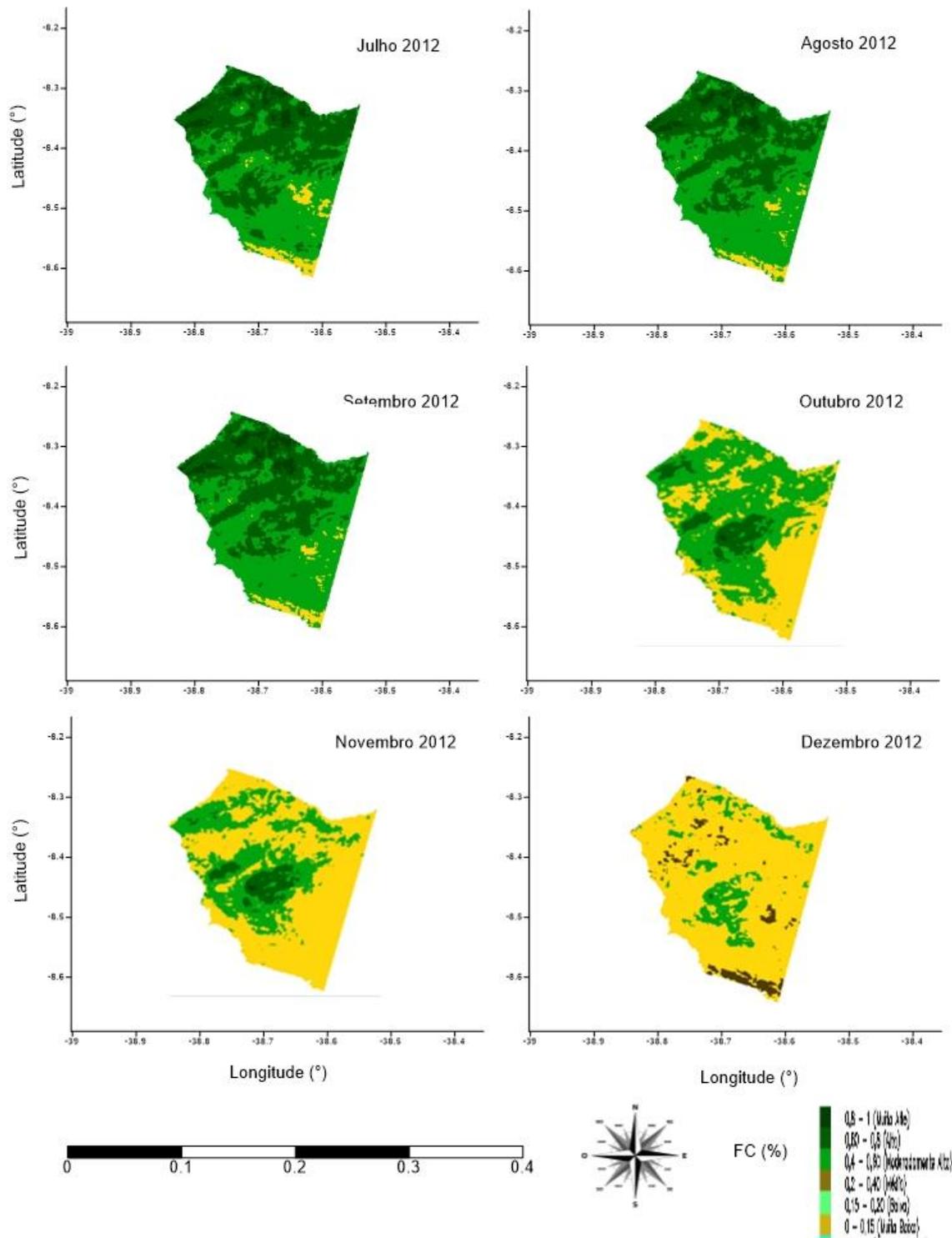


Figura 35. Cartas de fração de solo coberta por vegetação utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012, no município de Carnaubeira da Penha - PE.

Cartas de índice de área foliar (IAF)

Os resultados encontrados para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha mostram que o mês de fevereiro (Figura 35) sofre um aumento considerável de IAF nos últimos 16 dias do mês, tendo como principal fator para esse ocorrido o aumento do volume precipitado nessa época, tornando-se, ainda mais evidente nos meses de março e abril, onde cerca de 90% de toda área apresenta valores entre 2,20 – 7,00 m² m⁻² sendo encontrado os maiores valores na área onde encontra-se a Serra do Arapuá que apresenta cerca de 85% de sua extensão com IAF entre 3,45 – 7,00 m² m⁻². A justificativa para esses resultados se dá principalmente pelo maior volume precipitado principalmente para os últimos dois meses da análise, (Danelichen et al., 2014), estudando diferentes modelos de determinar IAF, certificaram-se que essa variável apresenta seus maiores valores ao longo dos períodos mais chuvosos.

È importante salientar também que o IAF varia de acordo com o ecossistema e das condições do local, como fertilidade e suprimento de água do solo, além disso, estrutura do dossel é um importante fator que influencia a sua estimativa (JUPP et al., 2008). Trazendo assim a importância dos brejos de altitude que mesmo encontrando-se dentro de regiões de caatinga com aspectos bem diferentes destes, fazendo com que essas áreas tornem-se um grande atrativo para os produtores da região.

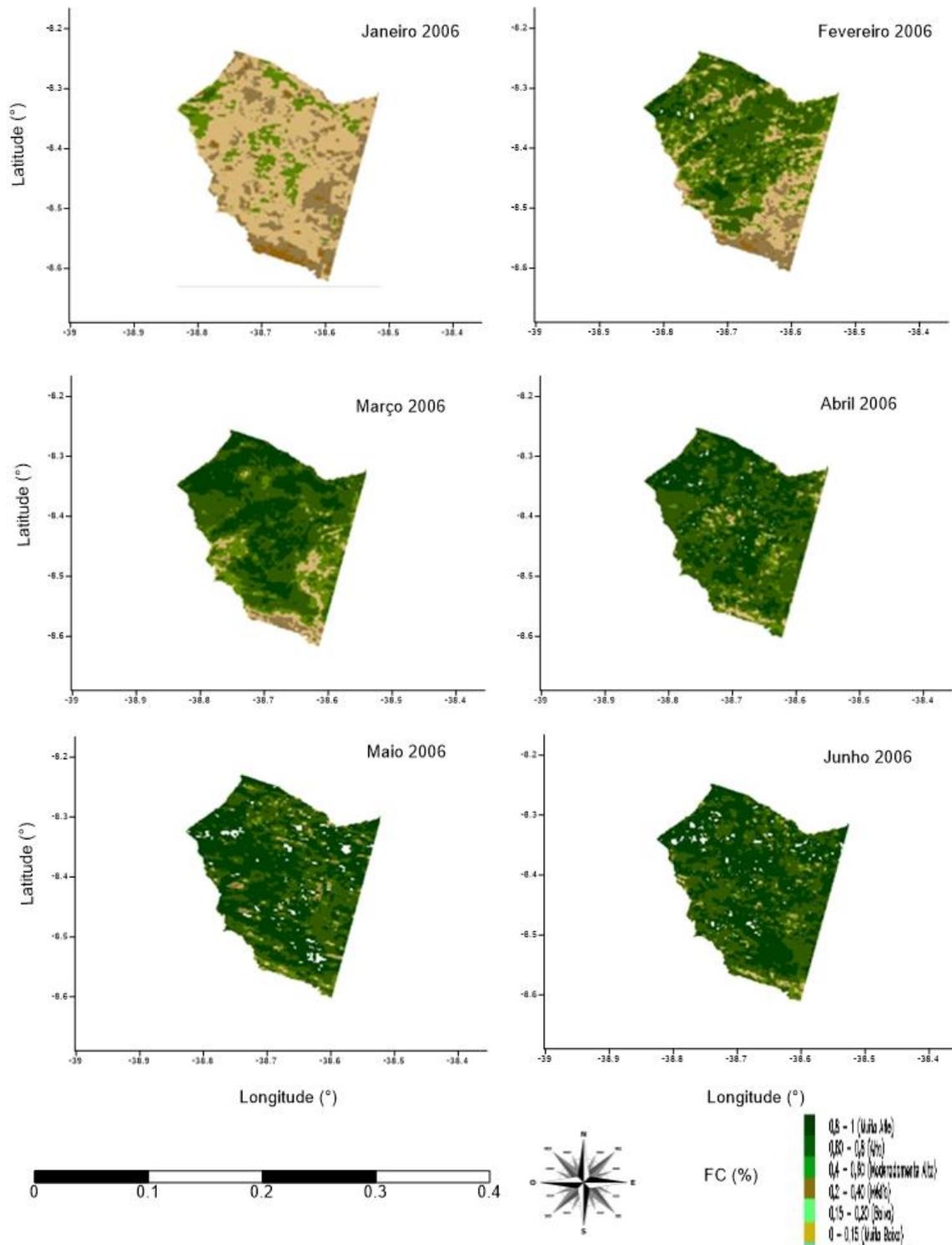


Figura 36. Cartas de índice de área foliar utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

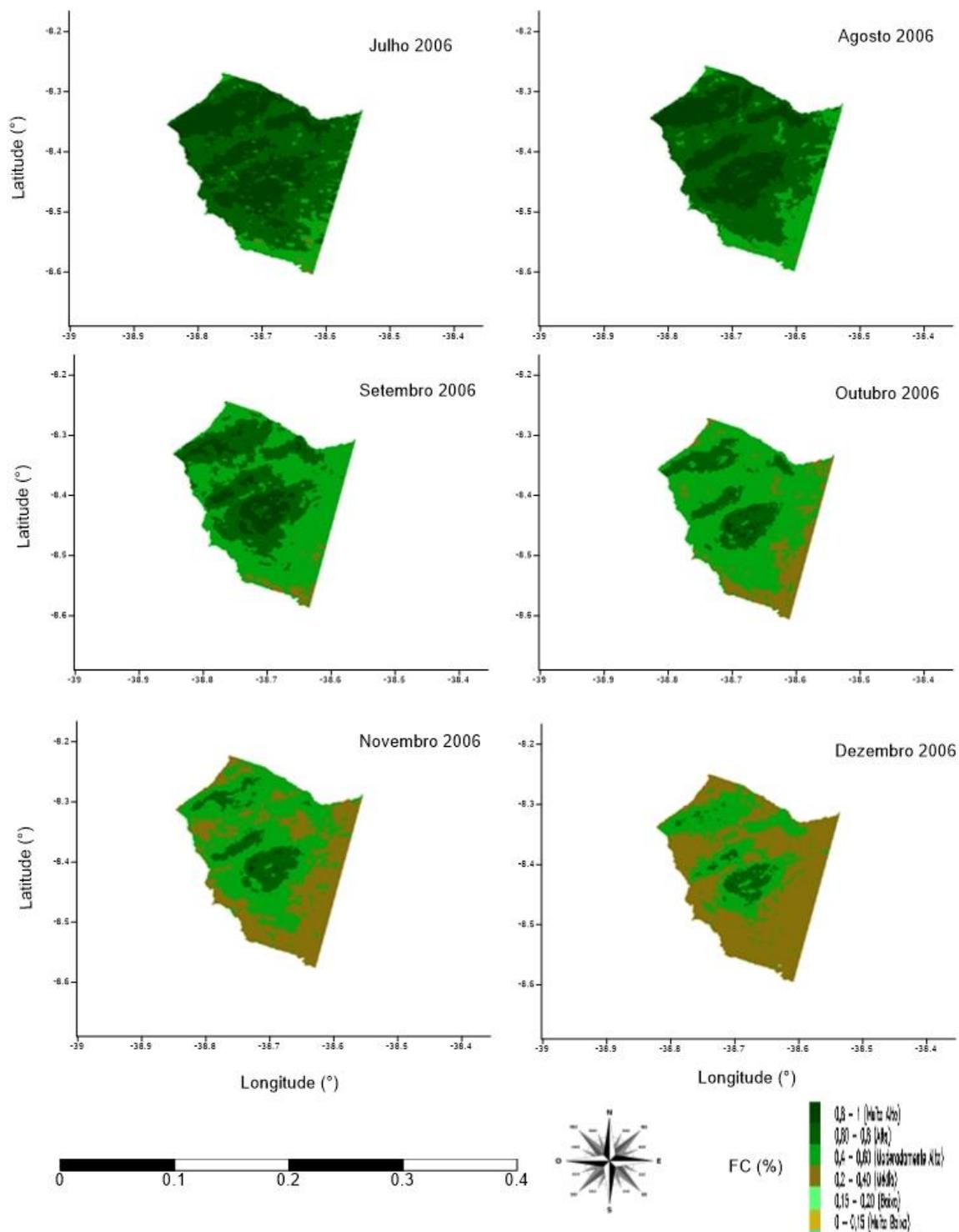


Figura 37. Cartas de índice de área foliar utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2006 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

Para o ano de 2012 a drástica queda nos valores de IAF (Figuras 37 e 38) estão associados principalmente ao longo período de estiagem que se estendeu desde o ano de 2011 á 2012, trazendo assim, bastante danos não só a vegetação local, mas a todos o Nordeste brasileiro.

Ao longo da distribuição espacial e temporal do IAF para 2012 (Figuras 37 e 38) observa-se como a seca prolongada na região acabou praticamente com toda vegetação da região, apenas a Serra do Arapuá apresentou 5% de IAF para toda sua área uma faixa entre $(1,27 - 1,71) \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, sendo considerado uma classificação média em relação aos resultados obtidos.

A resposta do IAF as chuvas ocorrentes são nítidas quando observamos o restante do período avaliado, onde foi encontrado apenas 95% de IAF próximo a $0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (ausência de folhas) nos primeiros 16 dias do mês de fevereiro, passando para 88% entre as faixa de $(1,27 - 3,42) \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ para os últimos 11 dias do mês . Mesmo sendo ainda baixos os valores encontrados, é importante salientar que a Caatinga por apresenta pouca densidade vegetativa apresenta-se com um bom volume vegetal em meio a grande seca, amenizando assim o clima da região. Essa resposta do IAF a chuva vem sendo estudada por diversos autores que já obtiveram correlações positivas ($r = 0,8662$; $p\text{-valor} < 0,05$), estimado pelo produto MODIS (DANELICHEN et al., 2014).

Portanto, fica evidenciado que a precipitação encontrada em maiores valores no período chuvoso de 2006 proporcionou maiores valores de IAF quando comparados ao ano de 2012, tendo para os primeiros 16 dias do mês de fevereiro os menores valores encontrados para ambos os anos.

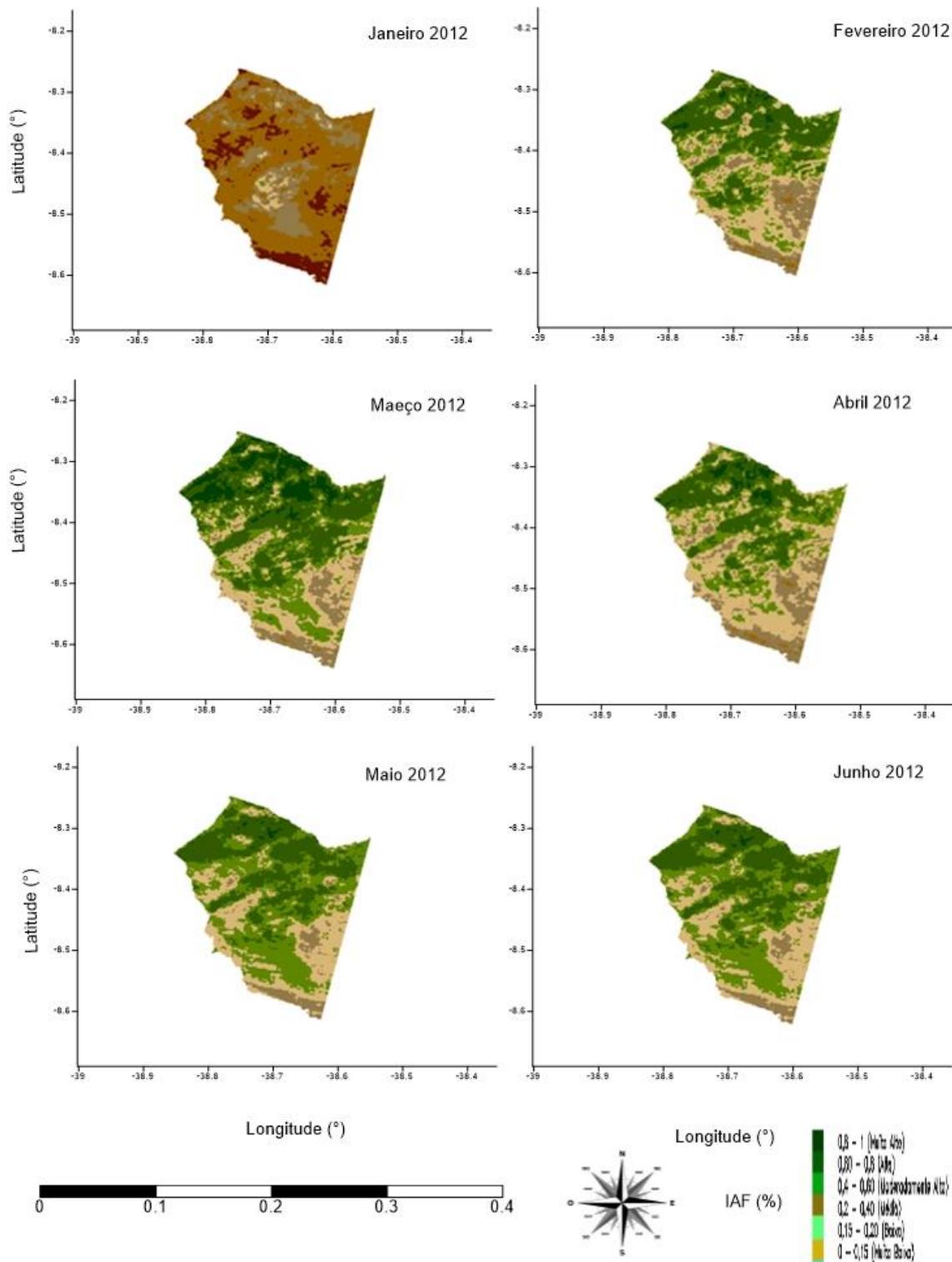


Figura 38. Cartas de índice de área foliar utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

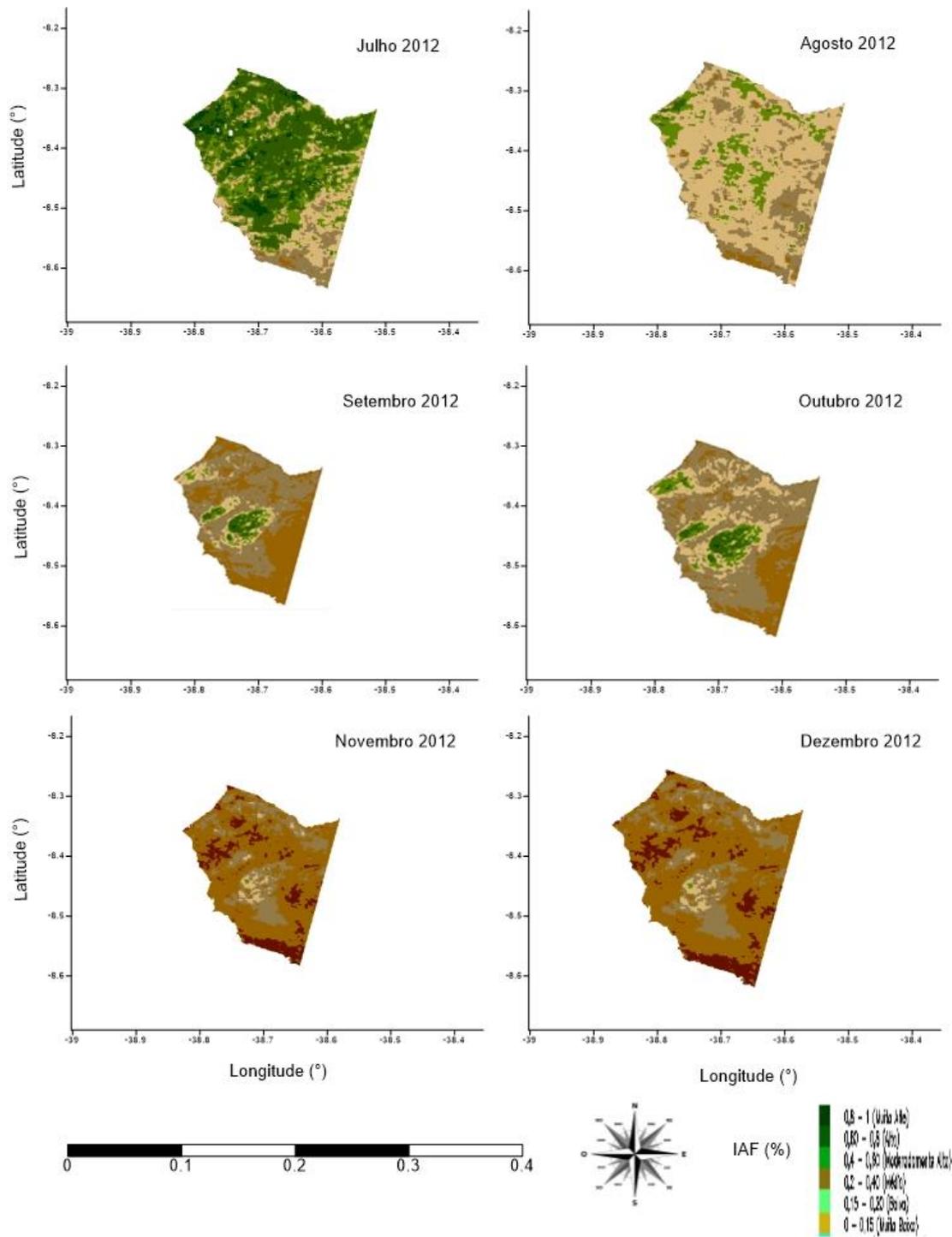


Figura 39. Cartas de índice de área foliar utilizando imagens do sensor MODIS para o ano de 2012 no município de Carnaubeira da Penha - PE.

Conclusões

- ✓ O modelo MTCLIM tem demonstrado boa precisão na estimativa da temperatura máxima ($R^2 = 0,90$), mínima ($R^2 = 0,95$), média ($R^2 = 0,98$) do ar da radiação solar global ($R^2 = 0,69$) e déficit de pressão de vapor para Triunfo ($R^2 = 0,58$) e pode ser usado para preenchimento de falhas em regiões montanhosas.
- ✓ As temperaturas máximas, mínimas e médias mensais do ar acompanharam o relevo local e é fortemente influenciado pelo tipo de uso da terra. A radiação solar global foi maior sobre a Serra do Arapuá. A precipitação proporcionou respostas em todas as variáveis analisadas Albedo, NDVI, FC e IAF, principalmente quando avaliada em anos diferentes, tendo 2006 apresentados melhores resultados que 2012.
- ✓ A direção predominante do vento de sudeste pode ter contribuído para redução das temperaturas do ar nas encostas da Serra do Arapuá voltadas para sudeste, com intensidade média nos meses mais secos de 2006 de 7,4 m/s e de 8,1 m/s em 2012.
- ✓ A região da Serra do Arapuá mostrou-se com grande estabilidade vegetal ao longo dos períodos avaliados, porém quando submetida a secas prolongadas sua vegetação perde cerca de 80% de área.
- ✓ A estimativa das variáveis Albedo, NDVI, FC e IAF utilizando imagens dos produtos MODIS demonstraram resultados satisfatórios para o estudo, tendo ajudado na busca de informações que ajudem a obter maiores conhecimentos sobre a vegetação presente no município de Carnaubeira da Penha “Serra do Arapuá”.

Referências Bibliográficas

ACHARD, F.; EVA, H.; GLINNI, A.; MAYAUX, P.; RICHARDS, T.; STIBIG, H. J. Identification of deforestation Hot Spots Areas in the Humid Tropics. **TREES Publications Series B**. Research Report n.4, 1998.

ALMEIDA, A. Q.; MELLO, A. A.; NETO, A. L.; FERRAZ, R. A. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.49, n.4, p.306-315, abr. 2014.

ALVES, D. S. **Padrões de desmatamento na Amazônia Legal**. Parcerias estratégicas, n.12, p.259-275, 2001.

ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de. **SENSOR MODIS: UMA ABORDAGEM GERAL**. INPE São José dos Campos, 2003.

BARDIN, L.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; MORAES, J. F. L. de. Estimativa das temperaturas máximas e mínimas do ar para a região do Circuito das Frutas, SP, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 618-624, 2010.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. B. EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL OBTIDA ATRAVÉS DA RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DUAL DE CULTURA DA FAO-56 E O NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, 404 - 414, SET 2010.

CHOUDHURY, B. J.; AHMED, N. U.; IDSO, S. B.; REGINATO, R. J.; DAUGHTRY, C. S. T. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. **Remote Sensing of Environment**, v.50, p.1-17, 1994.

CORREIA, F. W. S.; ALVALÁ, R. C. S.; GIELOW, R. Albedo do Pantanal Sul Matogrossense durante o período de transição seco-úmido de 2001-2002, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu.

CUNHA, A.P.M. A; ALVALÁ, R. C. S.; OLIVEIRA, G. S.. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, 139 - 152, 2013.

CUNHA, A.S. **Uma Avaliação da Sustentabilidade da Agricultura nos Cerrados**. RELATÓRIOS DE PESQUISAS IPEA, 204 p, 1994.

DANELICHEN, V. H. M.; VELASQUE, M. C. S.; MUSIS, C. R.; MACHADO, N. G.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S. Estimativas de índice de área foliar de uma pastagem por sensoriamento remoto no Pantanal Mato-grossense. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 36 n. 3 set- dez. 2014, p. 373 – 384. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM**

FORMIGONI, M. H.; QUARTO, J. P.; XAVIER, A. C. Análise temporal de área irrigada e caatinga na região de Petrolina por meio de dados EVI do MODIS. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. 2007, Florianópolis. **Anais...** São Jose dos Campos: INPE, 2007.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. Disponível em: www.funceme.br. Acesso em: 20 Jan. 2016.

GIONGO, P.R. 2008. **Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Tecnologia Rural. 92p.

HUETE, A. R.; TUCKER, C. J. Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, p.1223-1242. 1991.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS , 2001. Sessão Técnica Oral. p. 503-508. Repositório da Urib: <dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.07.23>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.07.23>>. Acesso em :15 nov.2015.

JUPP, D. L. B.; CULVENOR, D. S.; LOVELL, J. L.; NEWNHAM, G. J.; STRAHLER, A. H.; WOODCOCK, C. E. Estimating forest LAI profiles and structural parameters using a ground-based laser called 'Echidna'. **Tree Physiology**, v.29, p.171–181, 2008.

LADO, L. R. et al. Modelling air temperature for the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 64, n. 5, p. 460-467, 2007.

LIMA, M. Breve relatório etnográfico e arqueológico Pankará. Programa de Pós-graduação em Arqueologia/UFPE, 2008.

LINACRE, E. The effect de altitude on the daily range of temperature. **Journal of Climatology**, v. 2, n. 4, p. 375-382, 1982.

LOPES, P. M. O. Obtenção de regimes microclimáticos em regiões montanhosas com dados de sensores orbitais e integração de modelos distribuídos. São José dos Campos: INPE, 2006. 229p. **Tese Doutorado**.

LOPES, P. M. O.; ADAMI, M.; PEREIRA, E. B.; MOURA, G. B. DE A.; MOREIRA, M. A. Estimativa de temperaturas absolutas usando dados climáticos e orbitais sobre o território brasileiro. **Revista Caatinga**, v.24, p.120-127, 2011.

LOPES, P. M. O.; VALERIANO, D. M. Regimes de temperatura do ar em região montanhosa. **Revista Geográfica Acadêmica**, Manaus, v. 3, n. 2, p. 54- 67, 2009.

LOPES, P. M. O.; VALERIANO, D. M.; SILVA, B. B. MOURA, G. B. A.; SILVA, A. O. Simulação do saldo de radiação na Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.780-789, 2013.

MARENGO, J.A., CUNHA, A. P., ALVES, L. M.. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico, p. 1-6, 2016. Acesso em 03/fev. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose_Marengo/publication/.

MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; JUNIOR, L. C. S.; GALVÃO, M. J. T.G, PEREIRA, S. N.; MIRANDA, J. L. F. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Carnaubeira da Penha, estado de Pernambuco Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. 2 nd ed. London: Ethuen & CO, 1978. 372p.
Robinove, C. J.; Chavez, P. S.; Gehring, D.; Holmgren, R. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images. **Remote Sensing of Environment**. v. 11, p. 133-156. 1981.

OLIPHANT, A. J.; SMITH, R. A. S.; STURMAN, A. P.; OWENS, I. F. Spatial variability of surface radiation fluxes in mountainous terrain. **Journal of Applied Meteorology**, v.42, p.113-128, 2003.

OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J.S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó - PE. **Revista Brasileira de Geografia Física** 03 (2010) 55-69.

PORTO, K. C., CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 324p.

POUZONII, F. J. Shimabukurop, Y. E.; Kuplich, T. M.; Sensoriamento remoto da vegetação. Vol. 2. São Paulo oficina de texto 2012.

REMDIPE- Rede de Monitoramento de Direitos Indígenas em Pernambuco. Disponível: https://www.ufpe.br/remdipe/index.php?option=com_content&view=article&id=408&Itemid=245, Acesso em 03 de fev. 2017. 2017.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; DORAISWAMY, P. C. Assessment of MODIS LAI retrievals over soybean crop in Southern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, p.4091-4100, 2006.

ROUSE JUNIOR, J. W.; HAAS, R. H.; DEERING, D. W.; SCHELL, J. A.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Greenbelt: Nasa, 1974. 371p.

SCHAAF, C. B. MODIS BRDF/Albedo Product (MOD43B) User's Guide. [Online] <<http://geography.bu.edu/brdf/userguide/albedo.html>>, Acesso em : 8 nov.2015.

SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B. A.; GIONGO, P. R.; SILVA, A. O. DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA VEGETAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO DE PERNAMBUCO. **Revista Caatinga**, Mossoro, v.22, n.4, p.195-205, out.-dez. 2009.

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, 201-211, 2005.

SILVA, J. L. B. Monitoramento espaço-temporal da cobertura vegetal do bioma caatinga no Ceará mediante imagens orbitais. 117 f. Dissertação – Universidade Federal Rural de Pernambuco; Recife – PE, 2016.

SIQUEIRA JÚNIOR, J. C.; ALVES, D. S.; ESCADA, M. I. Utilização de técnicas de análise espacial no estudo da correlação entre expansão das áreas desflorestadas e da fronteira agropecuária no Estado do Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu, abr.2001. **Anais**. São José dos Campos.

SOARES FILHO, B. S. Fragmentação da paisagem florestal em função da estrutura e dinâmica fundiária no Norte do Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu, abr.2001. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL – VIII SOBER Nordeste.

SOUZA, L. M.; CEOLIN, A. C.; ABICHT, A. M.; Caracterização do estado atual da caprinocultura no nordeste do Brasil e em Pernambuco. Parnaíba, 06 a 08 de novembro de 2013,

TROVÃO, D. M. B.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J.; OLIVEIRA, A. B.; QUEIROZ, J. A. Avaliação de potencial hídrico de espécies da caatinga sob diferentes níveis de umidade do solo. **Revista de biologia e caatinga da terra**. Segundo semestre . Vol 4, numero 2. 2004. Universidade Estadual da Paraíba.

VERMOTE, E. F. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v.35, n.3, p.675-686, 1997.