



UFRJ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
METEOROLOGIA (PPGM)
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – CENTRO DE
MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**ESTUDO DO FENÔMENO DA ILHA DE CALOR URBANA NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ) USANDO DADOS DO
SENSOR AVHRR DOS SATÉLITES NOAA – 14 E 18**

VICTOR HUGO PEZZINI DE MEIRELES

**Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia,
orientada pelo Prof. Dr. José Ricardo de Almeida França, apresentada ao Instituto
de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito a
obtenção do título de Mestre.**

**RIO DE JANEIRO, RJ
Agosto/2011**

**ESTUDO DO FENÔMENO DA ILHA DE CALOR URBANA NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ) USANDO DADOS DO
SENSOR AVHRR DOS SATÉLITES NOAA – 14 E 18**

VICTOR HUGO PEZZINI DE MEIRELES

**Dissertação do Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia,
orientada pelo Prof. Dr. José Ricardo de Almeida França apresentada ao Instituto
de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito a
obtenção do título de Mestre.**

**RIO DE JANEIRO, RJ
2011**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos meus familiares por sempre acreditarem em mim, especialmente minha mãe Véra por sua paciência, carinho quando me encontrava exausto, ao meu pai Nélio que me incentivou a seguir em frente, me dedicar cada vez mais, pois ser meteorologista é meu sonho. A minha irmã Vivian, que mesmo me chateando, me divertia. Obrigado família, por vocês entenderem quando eu ia para casa e ao invés de ficar com vocês ficava o dia inteiro no computador. Obrigado, amo vocês!

Agradeço também a minha noiva Mariana por estar comigo durante esses três anos que foram à elaboração da minha tese de mestrado, por me incentivar, por entender a minha opção de deixar de encontrá-la, de sair por diversas vezes, de não vir ao Rio de Janeiro nas minhas folgas para ficar em São José dos Campos/SP, sozinho para ninguém me atrapalhar na elaboração deste trabalho. Obrigado minha Morena!

Ao meu orientador prof. Dr. José Ricardo de Almeida França pelos inúmeros “puxões de orelha” pessoalmente e via *e-mail* que fizeram me dedicar cada vez mais a este estudo. Apesar de eu, às vezes, demorar a realizar as sugestões dele para o trabalho. Obrigado!

Agradeço também a todos os professores do Departamento de Meteorologia da UFRJ que tanto contribuíram para minha formação, seja pelos conhecimentos transmitidos em sala de aula, pelas conversas nos corredores do departamento.

O meu muito obrigado a todos os amigos que fiz nesse tempo que passei no mestrado do Departamento de Meteorologia, como a Alessana Rossete, Fábio Oliva, Alexandre, Sheila e àqueles que assim como eu foram da graduação para o mestrado, como: Rodrigo Mathias, Bruno Duarte. Obrigado a todos vocês!

Agradeço ao pessoal do meu trabalho, o Núcleo de Monitoramento de Descargas Atmosféricas/FUNCATE (em São José dos Campos/SP) por me incentivarem. Aos meteorologistas do Núcleo por me ajudarem nas trocas de

escala para que eu pudesse vir ao Rio de Janeiro para as reuniões de discussão da tese com meu professor orientador.

A Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (DSA/ CPTEC – INPE) pelo fornecimento dos dados necessários para a elaboração deste trabalho.

Meus agradecimentos ao corpo de funcionários administrativos do Departamento de Meteorologia da UFRJ pelo apoio, suporte fornecido ao longo da minha formação.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio prestado durante o período de maio de 2009 a abril de 2010, através de uma bolsa de estudo de fomentação à pesquisa, resultando na elaboração desta tese de mestrado.

Agradeço principalmente a Deus por nunca me deixar desistir, mesmo naqueles momentos mais difíceis me fazer sempre enxergar que havia uma luz, por colocar em minha vida, em meu caminho, pessoas maravilhosas que muito me auxiliaram, incentivaram. Obrigado!

RESUMO

O fenômeno da Ilha de Calor Urbana começou a ser estudado por Luke Howard no início do século XIX. Diversos autores prosseguiram com o estudo deste tema e o relacionaram com a alteração do uso do solo. Pode-se caracterizar a área onde se observa a presença da Ilha de Calor Urbana como sendo uma região com temperaturas mais elevadas do que as áreas vizinhas.

Estudos realizados nas últimas décadas do século XX utilizaram técnicas de sensoriamento remoto para a obtenção de dados da superfície com o intuito de observar a presença da Ilha de Calor, sendo estes bem sucedidos.

Este trabalho utiliza dados do sensor AVHRR, a bordo dos satélites NOAA-14 e 18, para o cálculo do índice de vegetação NDVI, das emissividades dos canais 4 e 5 (infravermelho termal) e a estimativa de temperatura à superfície (TS) para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) no período de dados de outubro/2005 a maio/2007 (para o primeiro satélite) e agosto/2008 a fevereiro/2010 (exceto o mês de abril/2009, para o NOAA - 18). Os cálculos da estimativa de TS foram realizados através do método *split – window* após a aplicação de 3 técnicas de mascaramento de nuvens. Posteriormente foram realizadas composições dos maiores valores de TS, confeccionados *transectors* com base nestas composições e a partir disto perfis térmicos para mostrar a variação espacial da TS e, assim, poder identificar as áreas com atuação do fenômeno da ilha de calor urbana.

Os objetivos do trabalho foram: contribuir com o aumento de informações sobre o fenômeno da ilha de calor urbana, melhorar o seu entendimento, verificar a sazonalidade através do acompanhamento da evolução do índice de vegetação NDVI e da TS.

A análise dos resultados identificou áreas com elevados valores do índice de vegetação NDVI (acima de 0,5 que são caracterizadas como superfícies vegetadas), baixos valores da composição dos maiores TS ocorrendo nas mesmas áreas. Também identificou áreas com baixos valores de NDVI (superfícies com pouca ou nenhuma vegetação) e altos valores de TS (que poderiam atingir picos de 55°C).

Na análise do NDVI e das emissividades nos canais 4 e 5 notou-se que a área com maiores valores do índice de vegetação são as mesmas que detém as maiores emissividades nos dois canais (valores próximos a 0,98). Isto era esperado, pois as superfícies vegetadas tem elevadas emissividades.

Encontrou-se uma relação inversamente proporcional entre essas duas variáveis com altos valores de coeficientes de correlação e determinação. Nos meses de primavera/verão os efeitos de macro – escala (efeitos meteorológicos) causaram o aumento da TS simultaneamente ao aumento do índice de vegetação. Dessa forma, sobrepondo o efeito do uso do solo e acarretando baixos coeficientes de correlação e de determinação. Também se observou a sazonalidade ao longo do período de dados do NDVI e TS.

A partir das imagens da composição dos maiores TS pode-se observar a ocorrência de altos valores na região entre as latitudes de 22,7°S a 23,0°S e longitudes de 43,4°W até, aproximadamente, 43,2°W. A elaboração de *transectors* na latitude de 22,85°S e de perfis térmicos possibilitou identificar esta área com elevados valores (que atingiram picos de 55°C) bem como a região do maciço de Gericinó com valores mais reduzidos de TS (alcançando valores próximos a 39°C no verão e 27°C no inverno). Assim, a amplitude térmica entre estas localidades varia entre, aproximadamente, 10°C (nos meses de outono/inverno) e de 20°C (nos meses de primavera/verão). Tal fato é característico do fenômeno estudado.

Os resultados encontrados para o satélite NOAA – 14 indicam um padrão de Ilha de Calor distintamente diferente do que é observado em áreas de latitudes médias. Nestas áreas o fenômeno ocorre com maior intensidade durante a noite enquanto que na área do estudo elevados valores da estimativa de TS já podem ser encontrados no período da manhã.

Conclui-se que a área da RMRJ é influenciada pela Ilha de Calor Urbana ao longo do ano.

Palavras chave: Ilha de Calor Urbana, Sensoriamento Remoto, satélites NOAA – 14 e 18, RMRJ.

ABSTRACT

The phenomenon of Urban Heat Island began to be studied by Luke Howard in the early nineteenth century. Several authors continued the study and related to the change of land use. It is characterized by the higher temperature in center of the region than the surrounding areas.

The remote sensing started to be used in last decades of the twentieth century in order to obtain data from surface and investigate the presence of the Heat Island.

In this study was used data from the AVHRR sensor on board of NOAA-14 and 18, to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of emissivity of the channels 4 and 5 (thermal infrared) and the estimated Surface Temperature (ST) for the Metropolitan Region of Rio de Janeiro (MRRJ). The data period is from October/2005 to May/2007 (for NOAA – 14) and the August/2008 to February/2010 (for NOAA – 18, with the exception of April/2009). The estimates ST were calculated using the split - window method after the application of three cloud masking techniques. Later, compositions of the greatest values of ST and transectors were made based on these compositions and from this thermal profiles to show the spatial variation of the ST and thus it was possible to identify the urban heat island areas.

The main goal of this study were: to contribute to the increase of information about urban heat island phenomenon, improve their understanding and check the seasonality by monitoring the evolution of the NDVI and ST.

The results identified areas with high values of NDVI (over 0.5 that are characterized as vegetated surfaces), low values of the composition of the biggest ST occurring in the same areas. The opposite situation: low values of NDVI (surfaces with little or no vegetation) and high values of ST (which could reach peaks of 55°C) were also found.

In NDVI analysis and emissivity in channels 4 and 5 it was observed that on the areas with bigger values of NDVI are the same areas with highest

emissivity in both channels (values close to 0,98). This was expected because the vegetated surfaces have high emissivity.

It was observed an inverse relationship between these two variables with high values of correlation and determination coefficients. The effects of macro – scale (weather effects) in months of spring/summer caused an increase in ST simultaneously to increase the vegetation index. For this reason, overlapping the soil land use effect and resulting in low correlation and determination coefficients. The seasonal variation was also observed over the period of NDVI and ST data.

From the images of the composition of the biggest ST was possible to observe the occurrence of high values in the region between 22,7°S and 23,0°S of latitude and 43,4°W and approximately 43,2°W of longitude. Through the transectors at latitude 22,85°S and thermal profiles is possible to identify the area with high values (reaching peaks of 55°C) well as the region of Maciço Gericinó with lower values of ST (reaching values close to 39°C in summer and 27°C in winter). Thus, the thermal amplitude between these two places varies around approximately 10°C (in fall/winter) and 20°C (in spring/summer). This fact is characteristic of urban heat island.

The found results for NOAA - 14 indicate a heat island pattern different from the observed in mid-latitude areas. In these areas the phenomenon occurs with greater intensity during the night while in the study area high estimated values of ST can be found in the morning period.

Based on these results, the MRRJ can be considered as an influenced area by the urban heat island over the studied years.

Key words: Urban Heat Island, Remote Sensing, NOAA-14 and 18 Satellites, RMRJ

SUMÁRIO

	Páginas
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – ESTADO DA ARTE	5
2.1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O ESTUDO DO FENÔMENO DE ILHA DE CALOR URBANA.....	5
2.2 – A REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ).....	10
3 – SENSORIAMENTO REMOTO	19
3.1 – SENSORIAMENTO REMOTO.....	19
3.2 –SATÉLITES NOAA – 14 E 18.....	21
3.2.1 – CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES NOAA – 14 E 18.....	24
3.2.3 – CARACTERÍSTICAS DO SENSOR AVHRR.....	26
4 – METODOLOGIA	29
4.1 – MASCARAMENTO DE NUVENS.....	30
4.1.1 – TÉCNICA “GROSS THRESHOLD”.....	31
4.1.2 – TÉCNICA Q.....	31
4.1.3 – TÉCNICA $T_{b4} - T_{b5}$	32
4.2 – CÁLCULO DO NDVI.....	32
4.3 – CÁLCULO DAS EMISSIVIDADES.....	38
4.4 – CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE TS.....	39

4.5 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO, DE DETERMINAÇÃO, REGRESSÃO LINEAR, DESVIO – PADRÃO E VALOR QUADRÁTICO MÉDIO.....	41
4.5.1 – CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO LINEAR.....	41
4.5.2 – CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO.....	43
4.5.3 – CÁLCULO DO DESVIO - PADRÃO.....	43
5 – RESULTADOS.....	45
5.1 – RESULTADOS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI.....	45
5.2 – RESULTADOS DAS EMISSIVIDADES DOS CANAIS 4 E 5.....	57
5.3 – RESULTADOS DE ESTIMATIVA DE TS.....	76
5.4 – TRANSECTORS E PERFIS TÉRMICOS.....	88
5.5 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE NDVI E TS.....	99
6 – CONCLUSÕES.....	114
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXO A.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabelas	Títulos	Páginas
2.2.1	Dados das cidades que formam a RMRJ.....	13
3.2.1	Características dos satélites NOAA – 14 E 18.....	23
3.2.2.1	Características espectrais e espaciais dos canais que compõem o sensor AVHRR.....	27
4.2.1	Dias utilizados para o cálculo do NDVI mensal no período de Outubro/2005 – Maio/2007 baseados nos dados do satélite NOAA – 14.....	36
4.2.2	Dias utilizados para o cálculo do NDVI mensal no período de Agosto/2008 – Fevereiro/2010 baseados nos dados do satélite NOAA – 18.....	37
5.1	Meses apresentados nos resultados para os satélites NOAA-14 e 18.....	45
5.5.1	Desvio – Padrão de TS para os meses, consolidado para cada satélite e em todo período de dados.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Títulos	Páginas
2.2.1	Mapa da RMRJ.....	14
2.2.2	Uso do solo da RMRJ.....	15
2.2.3	Representação dos bairros da cidade do Rio de Janeiro.....	16
3.2.1.1	Órbita dos satélites da família NOAA.....	26
5.1.1	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Outubro/2005 (NOAA – 14).....	48
5.1.2	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Janeiro/2006 (NOAA – 14).....	48
5.1.3	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Abril/2006 (NOAA – 14).....	49
5.1.4	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Julho/2006 (NOAA – 14).....	49
5.1.5	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Outubro/2006 (NOAA – 14).....	50
5.1.6	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Dezembro/2006 (NOAA – 14).....	50
5.1.7	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).....	51
5.1.8	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Maio/2007 (NOAA – 14).....	51
5.1.9	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Agosto/2008 (NOAA – 18).....	52
5.1.10	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Dezembro/2008 (NOAA – 18).....	52
5.1.11	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).....	53
5.1.12	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Agosto/2009 (NOAA – 18).....	53

5.1.13	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Outubro/2009 (NOAA – 18).....	54
5.1.14	Imagem do Índice de Vegetação NDVI em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).....	54
5.1.15	Composição total do Índice de Vegetação NDVI do NOAA-14.....	56
5.1.16	Composição total do Índice de Vegetação NDVI do NOAA-18.....	56
5.1.17	NDVI da RMRJ nos dois conjuntos de dados.....	57
5.2.1	Mapa da Emissividade do canal 4 em Outubro/2005 (NOAA – 14).....	59
5.2.2	Mapa da Emissividade do canal 4 em Janeiro/2006 (NOAA – 14).....	60
5.2.3	Mapa da Emissividade do canal 4 em Abril/2006 (NOAA – 14).....	60
5.2.4	Mapa da Emissividade do canal 4 em Julho/2006 (NOAA – 14).....	61
5.2.5	Mapa da Emissividade do canal 4 em Outubro/2006 (NOAA – 14).....	61
5.2.6	Mapa da Emissividade do canal 4 em Dezembro/2006 (NOAA – 14).....	62
5.2.7	Mapa da Emissividade do canal 4 em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).....	62
5.2.8	Mapa da Emissividade do canal 4 em Maio/2007 (NOAA – 14).....	63
5.2.9	Mapa da Emissividade do canal 5 em Outubro/2005 (NOAA – 14).....	63
5.2.10	Mapa da Emissividade do canal 5 em Janeiro/2006 (NOAA – 14).....	64
5.2.11	Mapa da Emissividade do canal 5 em Abril/2006 (NOAA – 14).....	64
5.2.12	Mapa da Emissividade do canal 5 em Julho/2006 (NOAA – 14).....	65
5.2.13	Mapa da Emissividade do canal 5 em Outubro/2006 (NOAA – 14).....	65

5.2.14	Mapa da Emissividade do canal 5 em Dezembro/2006 (NOAA – 14).....	66
5.2.15	Mapa da Emissividade do canal 5 em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).....	66
5.2.16	Mapa da Emissividade do canal 5 em Maio/2007 (NOAA – 14).....	67
5.2.17	Mapa da Emissividade do canal 4 em Agosto/2008 (NOAA – 18).....	67
5.2.18	Mapa da Emissividade do canal 4 em Dezembro/2008 (NOAA – 18).....	68
5.2.19	Mapa da Emissividade do canal 4 em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).....	68
5.2.20	Mapa da Emissividade do canal 4 em Agosto/2009 (NOAA – 18).....	69
5.2.21	Mapa da Emissividade do canal 4 em Outubro/2009 (NOAA – 18).....	69
5.2.22	Mapa da Emissividade do canal 4 em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).....	70
5.2.23	Mapa da Emissividade do canal 5 em Agosto/2008 (NOAA – 18).....	70
5.2.24	Mapa da Emissividade do canal 5 em Dezembro/2008 (NOAA – 18).....	71
5.2.25	Mapa da Emissividade do canal 5 em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).....	71
5.2.26	Mapa da Emissividade do canal 5 em Agosto/2009 (NOAA – 18).....	72
5.2.27	Mapa da Emissividade do canal 5 em Outubro/2009 (NOAA – 18).....	72
5.2.28	Mapa da Emissividade do canal 5 em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).....	73
5.2.29	Emissividade do canal 4 no NOAA – 14.....	73
5.2.30	Emissividade do canal 5 no NOAA – 14.....	74
5.2.31	Emissividade do canal 4 no NOAA – 18.....	74

5.2.32	Emissividade do canal 5 no NOAA – 18.....	75
5.2.33	Emissividade do canal 4 nos dois conjuntos de dados.....	75
5.2.34	Emissividade do canal 5 nos dois conjuntos de dados.....	76
5.3.1	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Outubro/2005 (NOAA – 14).....	79
5.3.2	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Janeiro/2006 (NOAA – 14).....	79
5.3.3	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Abril/2006 (NOAA – 14).....	80
5.3.4	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Julho/2006 (NOAA – 14).....	80
5.3.5	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Outubro/2006 (NOAA – 14).....	81
5.3.6	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Dezembro/2006 (NOAA – 14).....	81
5.3.7	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).....	82
5.3.8	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Maio/2007 (NOAA – 14).....	82
5.3.9	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Agosto/2008 (NOAA – 18).....	83
5.3.10	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Dezembro/2008 (NOAA – 18).....	83
5.3.11	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).....	84
5.3.12	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Agosto/2009 (NOAA – 18).....	84
5.3.13	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Outubro/2009 (NOAA – 18).....	85
5.3.14	Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).....	85

5.3.15	Composição dos maiores valores de TS para todo o período de dados do NOAA-14.....	86
5.3.16	Composição dos maiores valores de TS para todo o período de dados do NOAA-18.....	87
5.3.17	Composição dos maiores valores de TS para os dois conjuntos de dados.....	87
5.4.1	<i>Transector</i> na latitude 22,85°S.....	88
5.4.2	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Outubro/2005 (NOAA – 14).....	90
5.4.3	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Janeiro/2006 (NOAA – 14).....	90
5.4.4	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Abril/2006 (NOAA – 14).....	91
5.4.5	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Julho/2006 (NOAA – 14)	91
5.4.6	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Outubro/2006 (NOAA – 14)	92
5.4.7	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Dezembro/2006 (NOAA – 14)	92
5.4.8	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Fevereiro/2007 (NOAA – 14)	93
5.4.9	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Maio/2007 (NOAA – 14)	93
5.4.10	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Agosto/2008 (NOAA – 18)	94
5.4.11	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Dezembro/2008 (NOAA – 18)	94
5.4.12	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Fevereiro/2009 (NOAA – 18)	95
5.4.13	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Agosto/2009 (NOAA – 18)	95
5.4.14	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Outubro/2009 (NOAA – 18)	96

5.4.15	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS em Fevereiro/2010 (NOAA – 18)	96
5.4.16	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS para o NOAA-14.....	98
5.4.17	Perfil Térmico da Composição dos Maiores Valores da estimativa de TS para o NOAA-18.....	98
5.4.18	Perfil Térmico da Composição dos Máximos dos Maiores Valores da estimativa de TS para os dois conjuntos de dados.....	99
5.5.1	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Outubro/2005 (NOAA – 14).....	101
5.5.2	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Janeiro/2006 (NOAA – 14).....	101
5.5.3	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Abril/2006 (NOAA – 14).....	102
5.5.4	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Julho/2006 (NOAA – 14).....	102
5.5.5	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Outubro/2006 (NOAA – 14).....	103
5.5.6	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Dezembro/2006 (NOAA – 14).....	103
5.5.7	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).....	104
5.5.8	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Maio/2007 (NOAA – 14).....	104
5.5.9	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Agosto/2008 (NOAA – 18).....	105
5.5.10	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Dezembro/2008 (NOAA – 18).....	105
5.5.11	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).....	106
5.5.12	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Agosto/2009 (NOAA – 18).....	106
5.5.13	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Outubro/2009 (NOAA – 18).....	107

5.5.14	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).....	107
5.5.15	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS para o NOAA-14.....	108
5.5.16	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS para o NOAA-18.....	109
5.5.17	Diagrama de Dispersão entre NDVI e Composição dos Maiores TS para os dois conjuntos de dados.....	109
5.5.18	Evolução Temporal do Coeficiente de Correlação entre o NDVI e Composição dos Maiores TS para NOAA-14.....	111
5.5.19	Evolução Temporal do Coeficiente de Correlação entre o NDVI e Composição dos Maiores TS para NOAA-18.....	111
A.1	Mapa da Precipitação interpolada em Outubro/2005.....	129
A.2	Mapa da Precipitação interpolada em Janeiro/2006.....	130
A.3	Mapa da Precipitação interpolada em Abril/2006.....	131
A.4	Mapa da Precipitação interpolada em Julho/2006.....	132
A.5	Mapa da Precipitação interpolada em Outubro/2006.....	133
A.6	Mapa da Precipitação interpolada em Dezembro/2006.....	134
A.7	Mapa da Precipitação interpolada em Fevereiro/2007.....	135
A.8	Mapa da Precipitação interpolada em Maio/2007.....	136
A.9	Mapa da Precipitação interpolada em Agosto/2008.....	137
A.10	Mapa da Precipitação interpolada em Dezembro/2008.....	138
A.11	Mapa da Precipitação interpolada em Fevereiro/2009.....	139
A.12	Mapa da Precipitação interpolada em Agosto/2009.....	140
A.13	Mapa da Precipitação interpolada em Outubro/2009.....	141
A.14	Mapa da Precipitação interpolada em Fevereiro/2010.....	142

1 – INTRODUÇÃO

A modificação na superfície terrestre que ocorre nas cidades, devido principalmente a substituição da cobertura vegetal natural por construções de residências, prédios, estradas, grandes avenidas, parques industriais, entre outras, fazem com que a cidade seja um mosaico de paisagens intraurbanas integradas com diferentes características de uso e ocupação do solo. Isto contribui para a destruição do micro clima existente dando origem a um novo, de grande complexidade, com condições bem distintas daquelas que são encontradas em seus arredores. Este novo microclima “criado” pelas cidades tem diferenças significativas em relação ao anterior, como na temperatura, umidade relativa, no comportamento dos ventos, na composição da atmosfera local, no balanço de energia e hídrico, no albedo e na rugosidade da superfície (Barry e Chorley, 1998).

A temperatura é influenciada pelas alterações que ocorrem na superfície terrestre, pois é um dos principais parâmetros nos processos físicos resultantes de todas as interações dos fluxos de energia entre a superfície e a atmosfera. Sendo assim, é um dos principais parâmetros para o estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana.

Os primeiros estudos referentes ao calor urbano datam do início do século XIX, quando Luke Howard detectou um excesso de calor artificial, em comparação ao campo, na cidade de Londres. Trabalhos similares feitos para outras cidades européias e nos Estados Unidos identificaram condições semelhantes e observaram uma diferença entre as temperaturas das áreas centrais e rurais de cerca de 10°C ou mais (Stull, 1980; Lombardo 1985; Oke, 1987). Assim, as cidades se tornam verdadeiros pólos de concentração de calor no meio de um ambiente não urbano.

As ilhas de calor consistem em parcelas de ar com temperaturas mais elevadas do que a vizinhança e se formam sobre os centros das grandes cidades. Ocorre principalmente devido às propriedades térmicas dos materiais das construções urbanas (asfalto, concreto, telhas entre outras) armazenarem mais o calor do que o solo e a vegetação das áreas rurais ou menos urbanizadas. Isto contribui para um aumento do contraste da temperatura entre estas regiões.

Em grandes áreas urbanas os efeitos da ilha de calor são mais pronunciados do que em regiões de menor porte, visto que em regiões relativamente pequenas a rápida mistura com o ar das áreas vizinhas transfere esse excesso de calor para outras localidades. Esses grandes centros urbanos também detêm uma grande concentração populacional e o fenômeno impacta diretamente no desconforto das pessoas, podendo causar problemas de saúde (como distúrbios do coração, circulação e respiração), aumento nas contas de energia, maior poluição, entre outros problemas (Gartland, 2008).

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) é uma das áreas mais urbanizadas do país e detém uma população bastante numerosa – com pouco mais de 11 milhões de pessoas (segundo dados do IBGE de 2010), concentrando cerca de 72,5% da população do Estado do Rio de Janeiro.

A ocupação desta área foi desde o início uma dura batalha contra os obstáculos naturais - visto que ela se expandiu entre o mar, a floresta, montanhas e baixadas - representando um desafio para o crescimento urbano. As culturas de alimentos para o abastecimento da cidade do Rio de Janeiro tiveram grande contribuição nessa expansão.

Posteriormente, com a chegada da família real portuguesa, iniciou-se um processo de transformação radical da cidade do Rio de Janeiro, tornando-a um atrativo para pessoas de diversas partes do país que buscavam melhores condições de vida e começaram a ocupar áreas em torno do centro da cidade e localidades no seu interior. A ocupação dessas zonas obrigou o deslocamento das fazendas de cultivo de alimentos para áreas ainda mais afastadas do centro da cidade do Rio de Janeiro e em direção à Baixada Fluminense.

As barreiras físicas do terreno, a importância política de cada cidade, entre outras condicionantes, causaram desenvolvimentos desiguais e diversificados uso do solo com os mais diferentes padrões nas formas urbanas (variando de áreas bem vegetadas, bairros com ruas não pavimentadas até bairros com grande concentração de construções, ruas asfaltadas, baixo índice de áreas verdes).

Um exemplo disto são as diferenças entre a área central da cidade do Rio de Janeiro (densamente ocupada), a região dos bairros da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes (dentro da própria cidade do Rio de Janeiro, que experimentam

uma grande ascensão na ocupação territorial) e a área ao norte da Baixada Fluminense (essencialmente rural).

Essa configuração da RMRJ faz com que a ilha de calor urbana possa ser mais bem verificada em algumas áreas do que em outras, tornando essa região uma interessante localidade para o estudo deste fenômeno.

Assim, o objetivo deste trabalho é estudar através da análise de imagens de satélite, modificações no campo da temperatura da superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Para isso serão empregadas técnicas e dados de sensoriamento remoto obtidos a partir de satélites.

Inicialmente foi formado um acervo de imagens de dois satélites NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) – NOAA–14 e NOAA–18 – para a área do estudo nos períodos de, respectivamente: outubro/2005 a maio/2007 (com 185 cenas) e agosto/2008 a fevereiro/2010 (com 225 cenas). Com base neste acervo de imagens foi criado um banco de dados do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) que serão utilizados para se estimar a temperatura à superfície, calcular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e as emissividades para a RMRJ.

Este estudo visa contribuir com o aumento de informações sobre a Ilha de Calor Urbana, melhorar o seu entendimento, verificar a sazonalidade e quão intenso é o fenômeno. Ainda é possível acompanhar a evolução de outras variáveis, como as emissividades e o índice de vegetação NDVI na RMRJ ao longo do período de dados.

O trabalho foi estruturado da seguinte forma:

- Este capítulo com a introdução (capítulo 1);
- O capítulo 2 é relacionado ao estado da arte fazendo uma revisão bibliográfica sobre a ilha de calor urbana (item 2.1), a descrição da área de estudo (item 2.2);
- O capítulo 3 se refere à explicação do sensoriamento remoto (item 3.1), descrição das características dos satélites NOAA-14 e 18 (item 3.2) e do sensor AVHRR (item 3.3);
- O capítulo 4 trata da metodologia aplicada ao presente estudo com as técnicas de mascaramento de nuvens (item 4.1), os cálculos empregados

para se obter o índice de vegetação NDVI (item 4.2), estimar a emissividade (item 4.3) e a temperatura à superfície (item 4.4), os cálculos do coeficiente de correlação, de determinação, a regressão linear, o desvio - padrão e o valor quadrático médio são exibidos no item 4.5;

- O capítulo 5 apresenta os resultados e suas discussões;
- O capítulo 6 abrange as conclusões.

2 – ESTADO DA ARTE

Este capítulo tratou de algumas discussões relativas aos trabalhos relacionados ao fenômeno da Ilha de Calor Urbana e ainda aborda uma descrição da área da Região Metropolitana do rio de Janeiro (RMRJ).

2.1 – Revisão Bibliográfica sobre o estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana

A cidade é considerada como um sistema, obviamente diferente dos ecossistemas naturais, visto que se trata de um meio adaptado para as necessidades da espécie humana, e não as espécies vegetais ou animais. O ecossistema urbano pode ser considerado como um conjunto de elementos, processos e inter-relações de tipo físico, químico e biológico característico do meio urbano. O clima, os fluxos de energia, o ciclo de nutrientes e sua estrutura espacial e biológica diferem sensivelmente dos ecossistemas naturais (García, 1999).

A modificação da superfície terrestre pelas construções de casas, prédios, estradas, grandes avenidas, parques industriais, entre outras, causa uma complexa alteração na estrutura microclimática existente, incluindo: modificação da composição da atmosfera local, modificação no balanço energético e modificações na rugosidade da superfície, alterando, conseqüentemente, o escoamento atmosférico em micro escala (Barry & Chorley, 1998).

A temperatura é influenciada pelas alterações que ocorrem na superfície terrestre, pois é um dos principais parâmetros nos processos físicos resultantes de todas as interações dos fluxos de energia entre a superfície e a atmosfera. Sendo assim, é um dos principais parâmetros para o estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana.

As mudanças causadas pela presença das áreas urbanas fazem com que fenômenos inter-relacionados (ilha de calor, a poluição do ar, chuvas intensas, inundações, desabamentos) passem a fazer parte do cotidiano das cidades, fazendo

com que a população se defronte com uma natureza alterada e conviva diariamente com problemas dela decorrentes (Lombardo, 1985).

Diversos estudos têm mostrado que os espaços urbanos constituem verdadeiros pólos de concentração de calor no meio de um ambiente não urbano bem mais confortável (se comparado ao *core* da ilha de calor), caracterizando-se como a Ilha de Calor Urbana. As primeiras observações deste fenômeno datam do início do século XIX, quando Luke Howard, químico e meteorologista fez suas primeiras observações em Londres. Emilien Renou fez descobertas similares para a cidade de Paris durante a segunda metade do século XIX. Estes estudos mostraram que as respectivas cidades experimentavam temperaturas de 2°C e 1°C mais elevadas em comparação com seus arredores (Gomez *et al.*, 1993). Outro estudioso do calor urbano, Wilhelm Schmidt, encontrou essas mesmas condições em Viena no início do século XX (Gartland, 2008).

Oke (1972), concluiu que a ilha de calor urbana é resultado das modificações dos parâmetros da superfície e da atmosfera urbana. Tal fenômeno pode ser considerado, conforme Stull (1980), Lombardo (1985) e Oke (1987), como sendo uma região com temperaturas mais elevadas do que as áreas vizinhas, em alguns dias essa diferença pode atingir cerca de 10°C ou mais.

Em geral os autores relacionam a formação de uma ilha de calor urbana aos seguintes fatores:

- Efeitos da transformação de energia no interior da cidade, com formas específicas (estruturas verticais artificialmente criadas), albedo e materiais de construção (propriedades térmicas dos materiais das construções urbanas facilitarem a condução de calor mais rapidamente que o solo e a vegetação das áreas rurais);
- Redução do resfriamento causado pela diminuição da evaporação (poucas áreas verdes, impermeabilização dos solos e transporte da precipitação através da canalização e diminuindo a quantidade de água disponível para evaporação);

- A radiação solar que não é usada na evaporação é carregada para o aquecimento das ruas, edifícios e do ar da cidade;
- Produção de energia antropogênica através da emissão de calor pelas indústrias, veículos automotores e habitações que adicionam calor ao meio ambiente;
- O aumento da rugosidade (pela presença de edifícios de diferentes alturas, casas), aumentando a turbulência, que age para transferir calor, ao mesmo tempo em que diminui o escoamento zonal;
- Quantidade de solo exposto, condição esta que eleva a temperatura de superfície;
- Topografia da cidade, onde montanhas e vales podem servir como barreiras para a dispersão do ar quente;
- As propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais de pavimentação absorvem energia durante o dia, e à noite emitem radiação de onda longa, mantendo a temperatura elevada durante a noite.

Eriksen (1978), em seu estudo mostra que o excesso de calor associado à qualidade do ar nas cidades pode prejudicar a saúde do homem, causando-lhe distúrbios de coração, de circulação e respiração. Portanto este se insere como componente básico ligado à questão do conforto térmico.

Outro efeito do fenômeno da Ilha de Calor Urbana é o aumento da precipitação nas áreas urbanas. O efeito da rugosidade das construções, o ar quente ascendente (devido ao aquecimento da superfície) e o aumento dos núcleos de condensação relacionados à concentração de aerossóis, podem provocar um aumento da quantidade de precipitação, podendo favorecer ainda mais os frequentes episódios de enchentes nas cidades (Sailor *et. al.*, 2003). As enchentes são intensificadas, principalmente, pelo alto grau de impermeabilidade do terreno e pela concentração de construções que alteram radicalmente as condições

microclimáticas (Karl *et al.*, 1988), que na grande maioria coincide com os maiores picos da ilha de calor e de intensidade de chuvas (Kinouchi, T. & Yoshitani, J., 2001). Também é possível registrar-se elevação da incidência de granizos nas áreas urbanizadas devido ao aumento do gradiente de temperatura entre a superfície e a atmosfera.

O estudo de Maitelli *et al.* (2004) investiga características espaciais e temporais da ilha de calor em Cuiabá, estado do Mato Grosso, no Brasil, utilizando estações móveis e de ponto fixo. Os resultados revelam que a ilha de calor localiza-se no distrito comercial, com elevação da temperatura de até 1,5°C nos dias chuvosos e de até 3,0°C em dias sem chuva.

Naccarato *et al.* (2001) foi um dos primeiros trabalhos no Brasil a mostrar a existência de fortes indícios da influência de grandes centros urbanos (como a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, a cidade de Campinas/SP e a região do município de São José dos Campos/SP) na intensificação e na atividade local de relâmpagos em comparação com as áreas vizinhas. Orville *et al.* (2001), nos EUA, apresentaram paralelamente resultados semelhantes para a cidade de Houston/Texas.

Em estudos posteriores Naccarato *et al.* (2003) formularam duas hipóteses para explicar o efeito urbano sobre os raios, sendo a primeira com base nos aerossóis (poluição urbana) e a outra hipótese é a termal. Esta última propõe que as ilhas de calor urbanas são responsáveis pela intensificação da convecção local que potencializa a eletrificação das nuvens de tempestades sobre as cidades, promovendo um aumento na atividade de raios.

Novamente Naccarato (2005), através da comparação entre a densidade de raios e imagens de temperatura aparente da superfície no período de tempestades, mostrou que a distribuição espacial dos raios na RMSP segue de forma muito semelhante o comportamento da ilha de calor urbano.

Outro efeito importante causado pelo aumento da temperatura urbana é a elevação do uso do aparelho de ar condicionado para a refrigeração dos ambientes internos de prédios e casas. Esta elevação causa um aquecimento adicional na ilha de calor urbana e enquanto estes edifícios são resfriados durante o tempo quente, o calor que foi afastado deles é adicionado ao ar externo pelos sistemas de aparelhos de ar condicionado (Kalkstein, *et. al.*, 1998).

Freitas & Silva Dias (2005) concluem em seu estudo sobre a ilha de calor urbana para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) que as diferenças de temperatura encontradas entre as áreas urbanas e suas vizinhanças são altamente dependentes das dimensões da área urbana. Em regiões relativamente pequenas o efeito da ilha de calor pode ser imperceptível em consequência da rápida mistura com o ar das regiões vizinhas.

Os autores destacam que a presença das áreas urbanas contribui para a formação de zonas de convergência e divergência não só sobre essas áreas, mas também sobre regiões remotas, assim promovendo uma circulação convectiva do ar: o ar relativamente quente sobe sobre o centro da cidade e é trocado por ar mais frio e mais denso, oriundo das zonas rurais.

Jáuregui (1979) em seu estudo para a cidade de Toluca/México, concluiu que quanto maior é a cidade mais acentuada será o efeito do contraste térmico entre a cidade e o campo. O autor também conclui que quanto maior a quantidade de fontes de calor e de contaminação, mais intensa será a ilha de calor.

Os autores Balling & Cerverny (1986) em seu trabalho fazem a associação da média mensal da intensidade dos ventos com o desenvolvimento da ilha de calor urbana em Phoenix/EUA. Eles concluíram que as mudanças observadas no campo de vento na área estudada estão relacionadas diretamente com a da ilha de calor urbana, devido ao aumento do gradiente de temperatura entre a área metropolitana e os seus arredores.

Cech *et. al* (1976), investigaram a ilha de calor em Houston/Texas, nos EUA, durante dois anos consecutivos e evidenciaram neste estudo uma correspondência rígida entre as áreas de elevada temperatura e os padrões do uso do solo.

Ainda fazendo associação da ilha de calor com os diferentes usos do solo, Eriksen (1978) estudou o fenômeno em Hanover, Canadá. Na região central da cidade, onde a concentração de prédios é expressiva, a temperatura variou entre 25°C e 26°C, enquanto que nas áreas verdes oscilou entre 20°C e 21°C.

Os autores Souza & Massambani (2004) utilizaram o índice de vegetação NDVI e temperatura da superfície na identificação de ilha de calor na Região Metropolitana de São Paulo.

No trabalho de Moraes *et al.* (2005), para a RMRJ (mesma área do estudo do presente trabalho), os autores observam que o máximo de temperatura coincide com a ocupação urbana da área.

A cidade do Rio de Janeiro foi uma das áreas de estudo do trabalho realizado por Teza & Baptista (2005) e em seus resultados obtiveram uma amplitude térmica de 13°C (valor considerado para a delimitação da área de recobrimento do transector realizado), onde se encontrou, para a temperatura de superfície, mínima de 28°C e máxima de 41°C, obtendo-se um perfil de ilhas de calor.

O estudo realizado por Marques Filho *et al.* (2009) sobre a Ilha de Calor Urbana na RMRJ identifica três grupos diferentes de microclimas (urbano, marítimo e vegetação) nesta área. Um padrão de temperatura à superfície, distintamente diferente daquele observado em cidades de latitudes médias, deste fenômeno foi observado ocorrendo durante a manhã na área estudada e não durante a noite.

O fenômeno da Ilha de Calor Urbana e os microclimas urbanos são extensivamente estudados no exterior há muitos anos, enquanto que em nosso país há uma escassez de trabalhos teóricos e empíricos (ao se comparar a alguns países europeus e aos EUA). Esta situação vem sendo alterada gradualmente com o aumento do número de estudos sobre o fenômeno da Ilha de Calor Urbana nas regiões metropolitanas das capitais brasileiras, principalmente a de São Paulo (Freitas, E. F. & Silva Dias, P. L., 2000, 2003).

2.2 – A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ)

A RMRJ ocupa cerca de 10,7% da área do Estado do Rio de Janeiro e concentra, em uma superfície em torno de 4.600 km², uma população aproximada de 11,5 milhões de pessoas, representando cerca de 72,5% da população do Estado. O número de cidades que formam a RMRJ sofreu alterações ao longo dos anos e em 2009 com a inclusão de Maricá e Itaguaí, passou de 17 para 19 cidades. Essa modificação foi realizada pelo Centro de Estatísticas, Estudos e Pesquisas (Ceep), com o objetivo de atualizar o mapa do Estado (a última atualização foi em 2001).

Na definição da área de estudo, no início deste trabalho (em 2006) não foram considerados os municípios de Itaboraí, Tanguá, Maricá e Itaguaí devido à divergência entre os institutos sobre a participação destas cidades na RMRJ. A figura 2.2.1 mostra os municípios considerados neste estudo para formarem a RMRJ.

A população da cidade do Rio de Janeiro corresponde respectivamente a, aproximadamente, 54,5% e 39,5%, das pessoas que residem na área do estudo e no Estado do Rio de Janeiro, sendo este município o que concentra a maior quantidade de habitantes (IBGE/2010).

A tabela 2.2.1 mostra informações sobre as áreas e população das cidades que fazem parte da RMRJ bem como para a RMRJ e Estado do Rio de Janeiro nos anos de 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010. As informações contidas nesta tabela foram obtidas no site do IBGE (<http://www.ibge.gov.br>).

Nesta tabela percebe-se que existem alguns valores zero (0) para população em determinados anos, isto se deve ao município em questão ter sido criado após aquele ano. As cidades de São Gonçalo e Duque de Caxias (excluindo a cidade do Rio de Janeiro) são as que detinham o maior número de habitantes em 2010. Estas cidades também experimentaram um aumento acelerado (aproximadamente 100 mil habitantes) de sua população nos últimos dez anos. Em contrapartida, o município de Nova Iguaçu teve uma queda em sua população em torno de 120 mil pessoas nos últimos 10 anos (devido à emancipação de alguns municípios, como Mesquita), porém é a quarta cidade em número de habitantes.

A figura 2.2.2 ilustra o uso e cobertura do solo na RMRJ em 2001. Nela pode-se observar uma grande área urbana (na cor rosa) que se estende em grande parte da cidade do Rio de Janeiro, Nilópolis, São João de Meriti, Belford Roxo, Duque de Caxias, Niterói, São Gonçalo. Inseridas nessa grande área citada existem algumas localidades que se encontram bastante degradadas (representadas pela cor roxa), sendo na cidade do Rio de Janeiro que se encontra grande parte deste tipo de uso e cobertura do solo.

Também se notam porções da RMRJ na tonalidade verde na cidade do Rio de Janeiro em Niterói, Maricá e São Gonçalo (áreas de serras destas cidades) e ao norte da RMRJ (do município da Nova Iguaçu até Guapimirim) representando áreas vegetadas em estágio de sucessão (inicial a média em verde claro e avançado

em verde escuro) ou florestas de terras baixas, encostas e montanhas. Estas regiões com vegetação ocorrem nas áreas dos maciços da cidade do Rio de Janeiro (o de Gericinó, ao norte, da Pedra Branca, atravessando a cidade de leste a oeste, e o da Tijuca, mais ao sul), das cidades de Niterói e Maricá e a Serra do Mar ao norte da RMRJ.

Tabela 2.2.1: Dados das cidades que formam a RMRJ (Fonte: www.ibge.gov.br).

Municípios	Área Territorial (km ²)	População				
		1991	1996	2000	2007	2010
Belford Roxo	78	0	398921	434474	480555	469332
Duque de Caxias	468	667821	712145	775456	842686	855048
Guapimirim	361	0	32566	37952	44692	51483
Itaboraí	430	162742	183561	187479	215792	218008
Japeri	82	0	72939	83278	93197	95492
Magé	388	191734	182624	205830	232171	227322
Mesquita	39	0	0	0	182495	168376
Nilópolis	19	158092	155080	153712	153581	157425
Niterói	134	436155	446593	459451	474002	487562
Nova Iguaçu	521	1297704	824630	920599	830672	796257
Paracambi	180	36427	37845	40475	42423	47124
Queimados	76	0	108322	121993	130275	137962
Rio de Janeiro	1200	5480768	5504436	5857904	6093472	6320446
São Gonçalo	248	779832	831467	831119	960631	999728
São João de Meriti	35	425772	433759	449476	464282	458673
Seropédica	284	0	0	65260	72466	78186
Tanguá	146	0	0	26057	28322	30732
RMRJ	4689	9637047	9924888	10650515	11341714	11599156
Estado Rio de Janeiro	43780,16	12807706	13323919	14391282	15420375	15989920



Figura 2.2.1: Mapa da RMRJ. (Fonte: site <http://www.cide.rj.gov.br>).

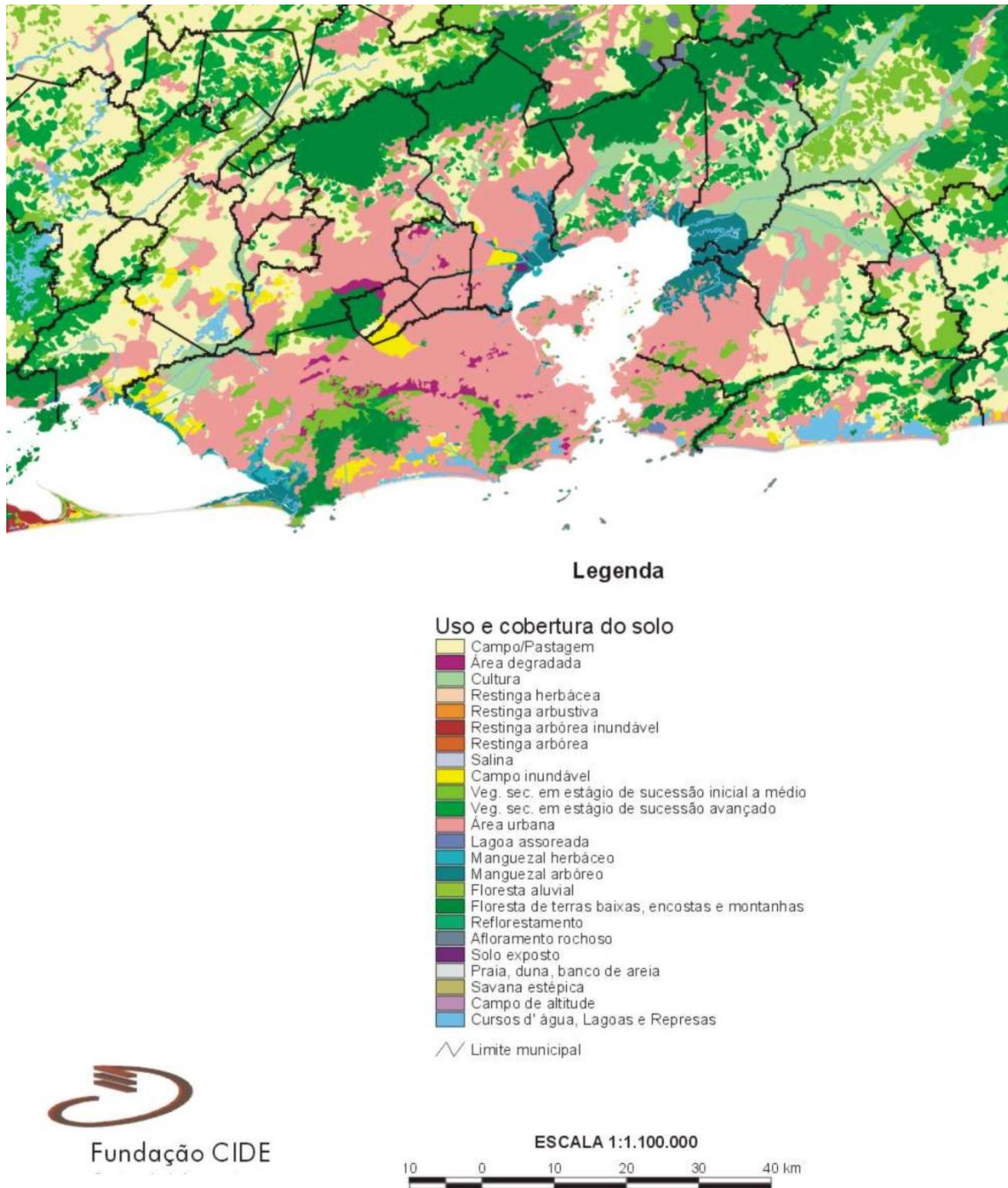


Figura 2.2.2: Uso e cobertura do solo da RMRJ. Adaptado do mapa de mesma finalidade para o Estado do Rio de Janeiro da Fundação CIDE (Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro). (Fonte: site <http://www.cide.rj.gov.br>).

A figura 2.2.3 mostra os bairros que fazem parte da cidade do Rio de Janeiro. Observa-se uma grande quantidade destes entre a zona central da cidade e a Zona Norte, enquanto que na Zona Oeste do município a quantidade dos bairros diminui e suas extensões aumentam.

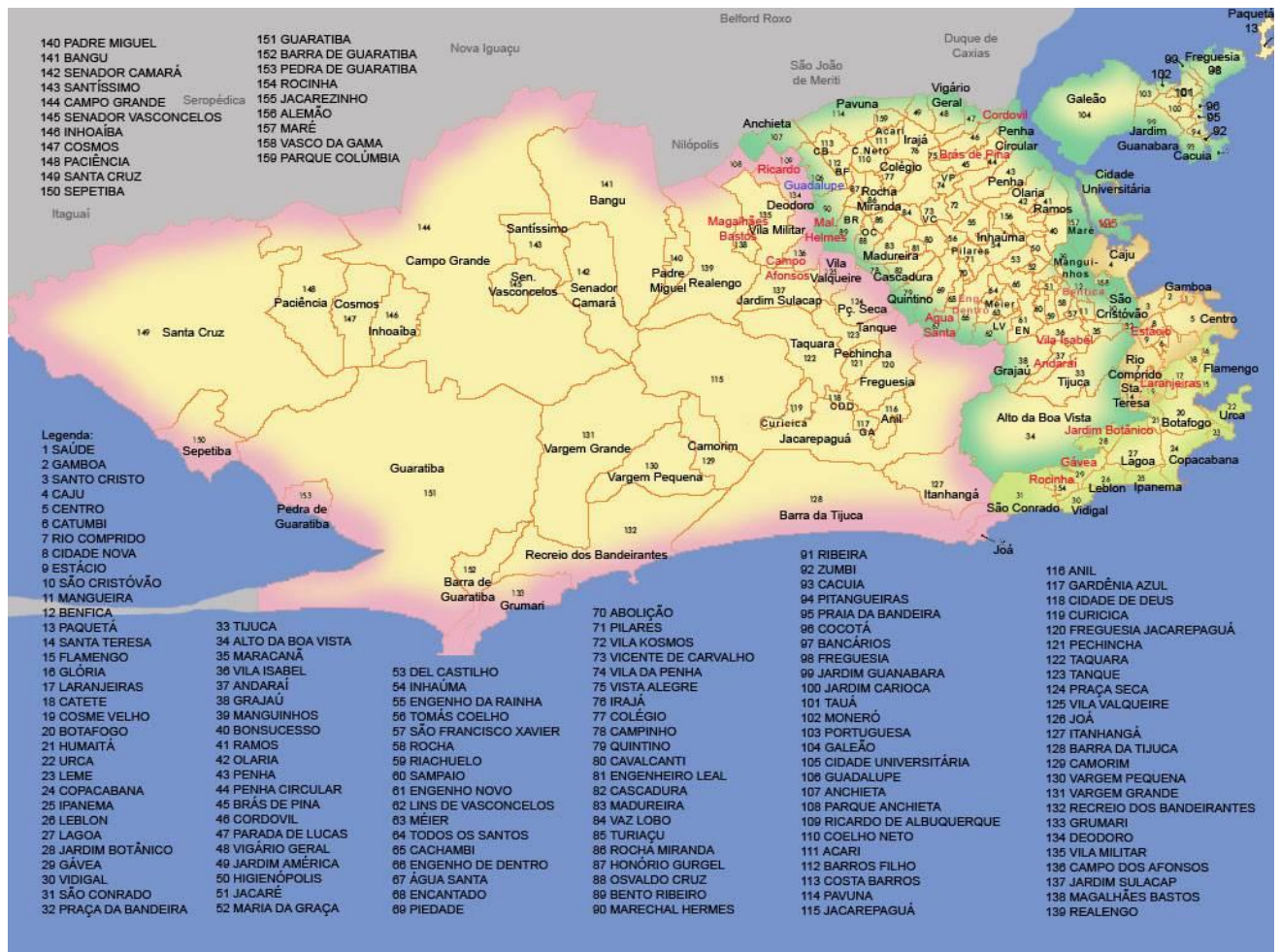


Figura 2.2.3: Representação dos bairros da cidade do Rio de Janeiro. . (Fonte: site <http://www.cariocasespeciais.blogspot.com>).

Segundo dados do IBGE/2010 a RMRJ é a segunda maior região metropolitana do Brasil apresentando uma densidade demográfica de, aproximadamente, 2.400 hab./km² com um grau de urbanização de 99,6%. Além disso, nesta região encontra-se a segunda maior concentração de população, de veículos, de indústrias e de fontes emissoras de poluentes do país, gerando sérios problemas ambientais.

No estudo de Jourdan (2007) o autor descreve a RMRJ como sendo uma área de paisagem única, diferenciada de qualquer outra cidade moderna e que se expandiu pelas amplas planícies da Baixada Fluminense, de Santa Cruz e de Jacarepaguá além da área mais a leste, o município de São Gonçalo, e tendo na agricultura (através das culturas da cana-de-açúcar e cafeeira) como auxiliar nessa

expansão e neste processo de crescimento acabou por envolver completamente os maciços litorâneos.

Para Souza (2000), o processo de expansão da área urbana do Rio de Janeiro foi, desde o começo, o de uma dura luta contra os obstáculos naturais. A imagem de uma cidade situada entre o mar e as montanhas descreve uma situação que, na realidade, representou um desafio para o crescimento urbano. Os pântanos e morros foram obstáculos para a expansão da cidade.

Neste cenário a cidade instalou-se e no seu processo de expansão envolveu os maciços, criando uma ilha florestal interior à cidade, sendo assim, não se trata de uma cidade cercada de florestas, mas sim de alguns fragmentos florestais cercados pela cidade. Estas áreas sofrem com a pressão do crescimento urbano em sua direção.

Durante os séculos XVI ao XIX relatos mostram a associação de diversos incêndios na Mata Atlântica devido a expansão da atividade agrícola, pois essa prática atingia maiores áreas e facilitava o crescimento das culturas da cana-de-açúcar e do café Dean (1996, p.199 e 200).

Segundo Abreu (1988) e Delgado de Carvalho (1988), só a partir do século XIX é que a cidade do Rio de Janeiro começa a transformar radicalmente a sua forma urbana. Esta modificação está intimamente relacionada com a vinda da família real portuguesa para a cidade do Rio de Janeiro. Além dessa alteração na área urbana da cidade, visando melhor adaptá-la para a Corte, modificações em outros campos foram feitas, como: na política da Colônia, aumento de incentivos financeiros para a melhoria das construções, em infraestruturas para adequar a cidade a sua nova realidade.

Até então o Rio de Janeiro era uma cidade apertada, limitada pelos Morros do Castelo, São Bento, Santo Antônio e da Conceição e ocupava uma área duramente conquistada à natureza, pelo processo de aterramento de brejos e mangues que já durava mais de três séculos. Além dos morros havia apenas pequenas extensões ocupadas que se dirigiam aos “sertões” do sul, oeste e do norte. Entretanto, a partir de 1850 a cidade experimenta um importante período de expansão, caracterizado pela incorporação de novos sítios à área urbana e a intensificação da ocupação das freguesias periféricas. O desenvolvimento da infraestrutura da cidade muito contribuiu para a sua expansão, como por exemplo, a

estrada de ferro D. Pedro II em direção à Baixada Fluminense e à zona norte da cidade do Rio de Janeiro (possibilitando o assentamento de um grande número de pessoas nestas áreas).

Abreu (1988) observou que no final dos anos 40, do século XX, a urbanização, tinha, praticamente, atingindo os seus limites atuais, assim os anos seguintes se caracterizaram mais pelo adensamento dessa área urbana do que pelo seu avanço. As décadas de 30 a 50 se constituem na fase mais marcante da expansão física da metrópole. A partir deste período o desenvolvimento industrial é grandemente acelerado devido aos novos sítios conquistados da natureza.

Souza (2000) argumenta em seu trabalho afirmando que a RMRJ é um exemplo perfeito da degradação ambiental em grandes cidades da semiperiferia capitalista. Privilegiada como poucas outras grandes cidades do planeta, no que concerne às amenidades naturais e a estética da paisagem, esta região tem sido também objeto de maciças intervenções em seu espaço ao longo de sua história, frequentemente com resultados nefastos, que representam uma degradação gradual de sua beleza e sua atratividade.

3 – SENSORIAMENTO REMOTO, SATÉLITES NOAA-14 E 18 E SENSOR AVHRR

O presente capítulo se refere a explicações sobre a técnica do sensoriamento remoto, os satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) 14 e 18 e finaliza descrevendo o sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) que se encontra a bordo dos dois satélites acima citados.

3.1 – Sensoriamento Remoto

Um dos grandes problemas para o avanço das ciências atmosféricas reside na obtenção de dados. Qualquer estudo, seja experimento de campo ou de modelagem numérica, é dependente da quantidade e da qualidade das informações medidas. Desta forma para se descrever qualquer fenômeno atmosférico em qualquer escala necessita-se de uma extensa e ampla rede de medidas meteorológicas com uma boa distribuição espacial e temporal.

Contudo, uma rede de estações com estas características nem sempre se torna viável devido à acessibilidade, aos custos da manutenção dos instrumentos, contratação de mão-de-obra especializada para a operação, entre outras adversidades.

Como forma de minimizar este problema, o sensoriamento remoto é amplamente empregado utilizando os dados obtidos a partir de plataformas remotas possibilitando assim uma grande disponibilidade de medidas e fornecendo uma ampla cobertura espacial e temporal.

A técnica do sensoriamento remoto é definida por diversos autores, por exemplo, Novo (1989), como sendo o processo pelo qual se obtém informações sobre as propriedades de algum material sem que haja contato físico direto com os objetos investigados. Assim, a aplicação desta técnica nas ciências atmosféricas do século XXI para a coleta de dados soluciona grande parte do problema de ausência de dados em algumas regiões de difícil acesso, através de sensores instalados em

plataformas remotas. Neste estudo, as plataformas remotas utilizadas foram dois satélites da família NOAA.

O primeiro satélite meteorológico posto em órbita da Terra foi o TIROS-1 (*Television and Infrared Observational Satellite*), de origem americana e lançado em 1º de abril de 1960. Após esse lançamento outros satélites foram colocados em órbita formando verdadeiras constelações de satélites. Antes dessas plataformas orbitais, o uso do radar era empregado para fins meteorológicos, porém sua aplicabilidade restringia-se a fenômenos que ocorriam em pequena escala espacial.

Aliado ao salto tecnológico promovido pelos satélites nas ciências atmosféricas o grande desenvolvimento da ciência computacional foi vital para o armazenamento dos dados coletados pelas plataformas orbitais, para a realização de cálculos para tratamento destes dados, a verificação das medições obtidas pelos sensores, além das correções no posicionamento e monitoramento dos sensores que se encontram a bordo dos satélites.

Em relação aos tipos de órbita, os satélites para fins meteorológicos em geral possuem órbita geoestacionária ou quase polar. As plataformas orbitais do primeiro tipo estão posicionadas sobre a linha do equador, a aproximadamente, 36000 km de altitude e deslocando-se com a mesma velocidade angular e direção do movimento da Terra, assim seus sensores coletam dados constantemente da mesma área. Um exemplo é o satélite GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellites*).

Os satélites de órbita quase polar percorrem uma trajetória elíptica em relação ao planeta Terra e encontram-se a uma altitude que varia de 700 a 1000 km. Em geral, estes satélites têm um pequeno e constante desvio do plano orbital em relação ao eixo norte-sul e seu imageamento pode ser tanto ascendente (quando cruza a linha do equador do sul em direção ao norte) quanto descendente (quando cruza a linha do equador do norte em direção ao sul). Uma importante característica da órbita quase polar é a de permitir que a Terra (com exceção dos pólos) seja imageada após, aproximadamente, 14 órbitas. Um exemplo de satélite com este tipo de órbita é o NOAA (utilizado neste trabalho).

Na formação da imagem de um satélite o sensor realiza o processo de escaneamento do alvo gerando linhas de dados com as informações captadas. A resolução desta imagem é determinada pela resolução do sensor imageador

utilizado, visto que esta define em quantos espaços, chamados de *pixels*, estas linhas são separadas. Este espaçamento é a unidade de uma imagem e cada *pixel* possui um único valor, seja de reflectância e/ou radiância, medido em um tempo/espaço associado a ele.

Os sensores podem ser separados em ativos e passivos. Os ativos emitem energia eletromagnética para os objetos terrestres a serem imageados e detectam parte desta energia que é refletida por estes na direção desses sensores. Os sensores passivos funcionam com a detecção da energia solar refletida ou energia emitida pelo alvo (como o infravermelho térmico).

Um dos autores pioneiros na utilização de dados de satélite no estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana foi Oke. Em seu trabalho de 1982 o autor afirma que a variabilidade espacial e temporal deste fenômeno cria problemas de amostragem. Além disso, há restrições ao uso de sistemas de observação como torres, balões, radiossondagens, por terem uma resolução espacial menor que a do fenômeno. Desta forma, Oke justifica a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto para o estudo de ilhas de calor e obtém resultados melhores que os obtidos sem o auxílio desta ferramenta.

Além de uma gama maior de informações, o uso do sensoriamento remoto pode auxiliar no planejamento urbano e, conseqüentemente, na melhoria da qualidade de vida nas cidades, pois seus resultados podem ser utilizados em políticas ambientais que visem o equilíbrio ambiental dos espaços urbanos.

3.2 – Satélites NOAA-14 e 18

A série de satélites NOAA é controlada pelo órgão americano, de mesma sigla, chamado *National Oceanic and Atmospheric Administration* e desenvolvida em cooperação com a Agência Espacial Americana (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*). Integra, em conjunto com o satélite europeu MetOp (*Meteorological Operational satellite program*), o sistema POES (*Polar Operational Environmental Satellite*).

A história desta série de satélites tem início em 1960 com o lançamento das plataformas orbitais da família TIROS, sendo implementados pelo Departamento de Defesa norte americano em conjunto com a NASA para atuarem na área da meteorologia. Foram cinco satélites TIROS postos em órbita, quando a partir do sexto satélite lançado (em 1979) a série passou a ser denominada NOAA.

Estes satélites são de órbita polar, heliossíncrona, ou seja, ele gira numa órbita que permanece sempre no mesmo plano, enquanto a Terra gira a razão de quinze graus por hora ($15^\circ/\text{h}$), elíptica a aproximadamente 850 km de altitude, sendo aplicados para fins meteorológicos, oceanográficos e terrestres podendo ser utilizados para o monitoramento de áreas vegetadas, de queimadas, em estudos de comportamento térmico.

Atualmente quatro satélites NOAA encontram-se operantes: do NOAA -15 ao 19. O satélite NOAA – 14, utilizado neste estudo, foi retirado de operação em março/2007. Na tabela 3.2.2.1 é apresentado um resumo das características dos satélites NOAA – 14 e 18 (utilizados no estudo).

Em maio/1998 com o lançamento do NOAA – 15 teve início uma nova série dos satélites com um expressivo melhoramento dos sensores a bordo desta plataforma orbital em relação aos anteriores.

Tabela 3.2.1: Características dos satélites NOAA-14 e 18. (Fonte: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/noaa.htm>)

Missão	National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA)	
Instituições Responsáveis	National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA)	
País/Região	Estados Unidos	
Satélite	NOAA - 14	NOAA - 18
Lançamento	30/12/1994	20/05/2005
Local de Lançamento	Vandenberg	Vandenberg
Veículo Lançador	Atlas E	Boeing Delta II
Situação Atual	Inativo 03/2007	Ativo - PM Primary
Órbita	Heliossíncrona, Quase-polar	
Altitude (Km)	870	854
Inclinação	98,9°	98,7°
Tempo de Duração da Órbita (min.)	102	102,1
Período de Revista	Diário	
Instrumentos Sensores	TOVS (HIRS/2, MSU, SSU), AVHRR/2, DCS	ATOVS (HIRS/4, AMSU-A, AMSU-B), AVHRR/3, DCS

3.2.1 – Características dos satélites NOAA-14 e 18

Os satélites NOAA-14 e 18 foram lançados, respectivamente, em 30/12/1994 e 20/05/2005 da base militar da Força Área norte americana localizada na cidade de Vandenberg, Califórnia, EUA. Os horários das imagens geradas por essas plataformas órbitas são informados em relação ao Meridiano de Greenwich, que é a referência do horário mundial e sendo mais frequentemente representado pelas siglas UTC (*Universal Time Coordinated*), GMT (*Greenwich Mean Time*) e Z (Zulu). A área do estudo encontra-se no mesmo fuso do horário oficial do Brasil, assim há um atraso de três horas entre o horário da imagem e o horário local. Esta diferença é reduzida para duas horas quando o horário de verão (adiantamento de uma hora nos relógios) está em vigor no país.

A bordo dos satélites utilizados no estudo encontram-se os instrumentos AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), que será melhor descrito no próximo item, TOVS (*TIROS Operational Vertical Sounder*) e DCS (*Data Collection System*).

O instrumento TOVS opera com diversos canais espectrais com o objetivo de obter dados sobre temperatura e umidade atmosférica. É composto por três sensores diferentes, sendo o para o NOAA-14:

- HIRS/2 (*High Resolution Infrared Radiation Sounder/2*) com 19 canais espectrais que operam na região do infravermelho;
- MSU (*Microwave Sounding Unit*) com quatro canais na região das microondas;
- SSU (*Stratospheric Sounding Unit*) com três canais no infravermelho para obter medidas da estratosfera.

O NOAA-18 também carrega a bordo o instrumento TOVS, sendo composto pelos seguintes sensores:

- HIRS/4 (*High Resolution Infrared Radiation Sounder/4*) com canais espectrais que operam na região do infravermelho similares aos seus antecessores e a inclusão de novos equipamentos para captar a temperatura da atmosfera;
- AMSU-A (*Advanced Microwave Sounding Unit - A*) tem função semelhante ao seu antecessor (MSU), diferenciando-se na quantidade de canais espectrais (quinze) no microondas com resolução de 50 km no nadir e na modernização dos seus componentes;
- AMSU-B (*Advanced Microwave Sounding Unit - B*) tem função semelhante ao seu antecessor (SSU) diferenciando-se na modernização dos seus componentes.

O instrumento DCS opera em conjunto com sistemas de monitoramento ambientais, recebendo informações de temperatura, pressão, velocidade e direção do vento a partir de estações em solo. Os dados são processados e transmitidos para estações NOAA em solo e servem para alimentar modelos de previsões meteorológicas e estudos climáticos.

O sistema de operação é formado por dois satélites em órbita elíptica quase polar e heliosíncrona, sendo um com uma órbita diurna a 833 km de altitude e outro em uma órbita vespertina a 870 km. Assim com os dois satélites de cada plataforma orbital utilizada no estudo é feita a cobertura do globo terrestre quatro vezes ao dia para cada um. A figura 3.2.1.1 mostra um exemplo da órbita do satélite NOAA.

O período orbital do satélite é determinado para ser de, aproximadamente, 102 minutos, o que corresponde a uma defasagem entre órbitas consecutivas de aproximadamente $25,5^\circ$ em direção a oeste. Esta defasagem, no entanto, não afeta a cobertura do satélite, graças ao amplo campo de mapeamento que este possui. Como a duração do dia não é um múltiplo inteiro do período, fazendo com que haja aproximadamente 14,1 órbitas por dia, segue que, com referência a um ponto fixo na superfície, as órbitas serão deslocadas certa distância todos os dias e o mesmo alvo será visto de diferentes ângulos em dias consecutivos. O deslocamento correspondente da órbita em direção a oeste é da ordem de,

aproximadamente, $2,74^\circ$ por dia. Fazendo com que o satélite retorne a sua posição inicial, somente a cada nove dias (Vogt, 1992).

Os dados referentes aos *pixels* das bordas da área imageada pelos satélites devem ser descartados, pois conforme se aproxima dos limites da imagem estes se deformam, tem sua resolução é alterada e conseqüentemente os dados extraídos dessas áreas contém erros.

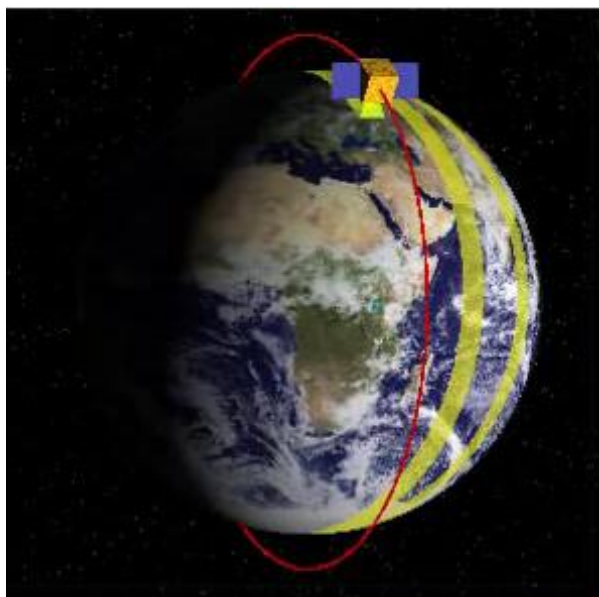


Figura 3.2.1.1: Órbita dos satélites da família NOAA (Fonte: site <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/noaa.htm>).

3.2.2 – Características do sensor AVHRR

O sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) é um sensor passivo composto por um radiômetro imageador multiespectral do tipo varredura transversal (*cross-track*) que consiste de uma série de pequenos sensores que registram a quantidade de radiação visível e infravermelha refletida e/ou emitida a partir da atmosfera e da superfície da Terra (como números digitais). Isto fornece imagens da superfície terrestre mostrando elementos que normalmente não podem ser vistos com o olho humano. A utilização deste sensor teve início quando a série TIROS passou a ser denominada NOAA.

Existem cinco canais no sensor AVHRR, a bordo dos satélites NOAA-14 e 18, cada um concebido para gravar informações de uma parte diferente do espectro eletromagnético. Em versões anteriores, foi projetado com quatro canais, um visível (canal 1), outro localizado no infravermelho (IV) próximo (canal 2) e outros dois nas regiões espectrais do infravermelho médio e termal, canais 3 e 4 respectivamente. Este último canal, nas versões mais recentes, tem sido separado em dois canais termais (canais 4 e 5). A adição de um quinto canal ampliou o uso de informações no IV termal, possibilitou obter mapas de temperatura da superfície mais exatos. A cobertura em diferentes partes do espectro eletromagnético, o torna uma ferramenta adequada para o monitoramento de diferentes parâmetros ambientais, como a temperatura da superfície e o albedo.

A tabela 3.2.2.1 mostra as características espectrais e espaciais deste sensor que se encontra a bordo dos satélites NOAA-14 e 18, utilizados nesse estudo.

Tabela 3.2.2.1: Características espectrais e espaciais dos canais que compõem o sensor AVHRR (Adaptada de: Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação, Maurício Alves Moreira).

CANAIS	COMPRIMENTO DE ONDA (μm)	REGIÃO DO ESPECTRO	RESOLUÇÃO ESPACIAL (km^2) (nadir)
1	0,58 – 0,68	VISÍVEL	1,1
2	0,725 – 1,1	IV PRÓXIMO	1,1
3	3,55 – 3,93	IV MÉDIO	1,1
4	10,3 – 11,3	IV TERMAL	1,1
5	11,5 – 12,5	IV TERMAL	1,1

O sensor AVHRR possui um IFOV (*Instantaneous Field of View*) de 1,4 mrad, uma taxa de 360 varreduras por minuto e um ângulo de imageamento igual a $\pm 56^\circ$. Orbita a Terra a uma altitude que varia de 833 km até 870 km, o que proporciona uma resolução espacial nominal de 1,1 x 1,1 km no nadir e 2,4 x 6,9 km nos extremos da linha de varredura. A largura da faixa de imageamento é de 2.700

km e o nível de quantização é de 10 bits, resultando em uma resolução radiométrica de 1.024 níveis de cinza.

O objetivo inicial do sensor AVHRR era observar as condições meteorológicas da Terra, entretanto, uma pesquisa mais aprofundada sobre os sensores, demonstrou claramente que eles poderiam ser usados além do seu objetivo original.

Atualmente os dados obtidos por esse sensor são utilizados em diversas aplicações para observar e monitorar processos da superfície terrestre e outras características da Terra. Um exemplo da aplicação dos dados do AVHRR é o estudo feito por Peres (1999) para estimar o fluxo médio diário de radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre.

4 – METODOLOGIA

Foi criado para a área de estudo um acervo de imagens obtidas dos satélites NOAA – 14 e 18, sensor AVHRR, nos períodos de outubro/2005 até maio/2007 para o primeiro satélite e de agosto/2008 a fevereiro/2010 para o outro. Estas imagens tem resolução aproximada de 1 km².

Foram selecionadas imagens que obedecessem ao critério de mínima nebulosidade sobre a área do estudo, sendo este aplicado de forma subjetiva, visto que a escolha das cenas foi realizada pela identificação visual da cobertura de nuvens sobre a RMRJ. Para minimizar essa contaminação nos dados foram utilizadas técnicas de mascaramento de nuvens que retiram a interferência da nebulosidade e do sombreamento destas na superfície terrestre. Assim, o número de imagens que formam o acervo são de 185 cenas para o NOAA – 14 e 225 para o NOAA – 18, totalizando 410 cenas.

As imagens dos canais 3 e 4 foram obtidas através do *site* da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, localizado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE), sendo nestas imagens aplicado o critério de seleção por mínima presença de nebulosidade. Após a escolha dos dias e contato com a DSA/CPTEC/INPE, esta forneceu os dados dos canais 1, 2, 3, 4, 5 e do ângulo zenital de cada um dos satélites utilizados.

A partir dos dados das reflectâncias dos canais 1 e 2 e das radiâncias dos canais 4 e 5 do sensor AVHRR em conjunto com técnicas de mascaramento de nuvens foi possível o cálculo dos parâmetros do índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação Diferença Normalizada), das emissividades dos canais 4 e 5 mensais e da estimativa da temperatura à superfície (TS) diária. Na sequência foi feita a composição mensal dos máximos de TS para a RMRJ. Posteriormente foram calculados os coeficientes de correlação, de determinação, a regressão linear entre o NDVI e TS, o desvio – padrão e o erro quadrático médio (RMS).

4.1 – Mascaramento de Nuvens

A superfície terrestre é coberta por uma grande quantidade de nuvens e esta condição interfere nos cálculos dos parâmetros da superfície terrestre, principalmente do NDVI, das emissividades e de TS resultando em erros. Portanto, a obtenção de resultados confiáveis dessas variáveis depende da identificação e separação de *pixels* que estejam contaminados pelas nuvens.

Dessa forma, foram inicialmente selecionadas imagens que obedecessem ao critério de mínima nebulosidade. Em seguida foi aplicado um teste para se identificar, separar os corpos d'água e evitar que dados inválidos fossem levados em conta. Assim, utilizou-se que a reflectância do canal 1 não poderia ser maior ou igual à reflectância do canal 2 ($R_2 \leq R_1$) do sensor AVHRR e caso isto ocorresse o *pixel* era desconsiderado.

Posteriormente foram aplicadas 3 técnicas de mascaramento de nuvens distintas: "Gross Threshold", Q e a diferença entre as temperaturas de brilho dos canais 4 e 5 ($T_{b4} - T_{b5}$) (França, 1994, 1996). As duas primeiras técnicas citadas foram aplicadas nos cálculos do NDVI e da TS. No cálculo da temperatura da superfície ainda foi aplicado a terceira técnica de mascaramento. Estas também retiram o efeito de sombreamento causado pela nebulosidade. As técnicas aplicadas são mais conservativas e alguns *pixels* podem ser considerados com nuvens e não terem a presença de nebulosidade.

O *pixel* é considerado sem a presença de nuvens quando é aprovado pelas três técnicas simultaneamente. Caso seja reprovado por qualquer uma dessas técnicas o *pixel* é considerado contaminado por nebulosidade, sendo representados nas figuras confeccionadas para os parâmetros calculados pela cor branca.

4.1.1 – Técnica “Gross Threshold”

Esta técnica consiste em classificar o pixel como coberto por nuvem através do valor da temperatura de brilho do canal 4, T_{b4} .

O clima equatorial apresenta uma pequena variação da temperatura do ar variando de 290 K até 310 K ao longo de todo o ano (França & Cracknell, 1994). Esta variação permitiu estabelecer um valor para T_{b4} de 278 K. Nos estudos de França (1994, 1996) foi estabelecido um valor superior ao anterior para a temperatura de brilho do canal 4, sendo de 287 K, sendo este valor obtido através de medidas *in situ*.

O valor de T_{b4} dos estudos de França (1994, 1996) foi tomado como limiar para o pixel ser considerado como nuvem, dessa forma valores de T_{b4} menores que 287 K ($T_{b4} < 287$ K) são considerados como nuvem.

4.1.2 – Técnica Q

A técnica Q é baseada na razão entre as reflectâncias do canal 1 (R_1) e 2 (R_2), respectivamente nas bandas do visível e do infravermelho próximo, do sensor AVHRR como é mostrado na equação 1 abaixo.

$$Q = R_2 / R_1 \quad (1)$$

Os valores de Q sobre *pixels* cobertos de nuvens são aproximadamente iguais a um, devido ao efeito similar de espalhamento da energia refletida para ambos os canais. Sobre a superfície continental os valores de Q são maiores devido a maior refletividade do R_2 em relação ao R_1 . Já na superfície marítima R_1 é muito maior que R_2 devido ao efeito da absorção pela água no intervalo do infravermelho próximo.

Utilizou-se como base os estudos de França (1994, 1996) para delimitar valores da técnica Q para classificar o *pixel* como contaminado por nuvem, mar ou

se representa a superfície continental. Assim, valores de Q maiores que 0,8 e menores a 1,6 ($0,8 < Q < 1,6$) o *pixel* é considerado como nuvem. Para valores da técnica Q menores ou iguais a 0,8 ($Q \leq 0,8$) o *pixel* é classificado como mar e, quando Q tem valores maiores ou iguais a 1,6 como superfície continental ($Q > 1,6$).

4.1.3 – Técnica $T_{b4} - T_{b5}$

Alguns estudos sobre a diferença entre as temperaturas de brilho dos canais 4 (T_{b4}) e 5 (T_{b5}) para latitudes médias demonstraram a vantagem deste método na detecção de tênues camadas de nuvens *Cirrus* e de bordas de nuvens espessas, o que era extremamente difícil com a utilização de outras técnicas. A calibração feita para uma área equatorial sobre o mar demonstrou que essa diferença tem seu valor maior que 1,0 K e menor que 2,0 K. Já outros testes mostraram que esta diferença pode chegar até 3,0 K e raramente a 4,0 K, de acordo com o estado atmosférico. Estes testes demonstraram que o *pixel* pode ser considerado como coberto por nuvens para valores da diferença entre as temperaturas de brilho dos canais 4 e 5 ($T_{b4} - T_{b5}$) maiores que 4,0 K (França, 1994 e 1996).

4.2 – Cálculo do NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, NDVI no acrônimo em inglês, (*Normalized Difference Vegetation Index*) se traduz como sendo um indicador numérico.

Segundo Tucker (1979), citado por Moreira (2005), a vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,58 a 0,68 μm) e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,76 a 1,35 μm) causada pela estrutura celular das folhas. Moreira (2005) afirma que os dados de reflectância dos alvos podem ser transformados em índices de vegetação,

os quais foram criados com o intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre, sendo o NDVI um dos índices mais utilizados.

O referido índice pode ser utilizado em uma vasta gama de estudos, como, segundo INPE: estimativas de parâmetros da vegetação (cobertura vegetal, índice de área foliar); atividades agrícolas (monitoramento do ciclo de crescimento de culturas, modelagem do crescimento e produtividade de plantações); monitoramento de secas; detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas; modelagem climática e hidrológica; balanço de carbono, detecção de mudanças climáticas, entre outras aplicações.

Além do NDVI o *site* do INPE apresenta uma variedade de índices de vegetação, entre eles: SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), GEMI (Global Environment Monitoring Index) e o EVI (Enhanced Vegetation Index). Porém o índice de vegetação utilizado neste estudo tem como principal vantagem sua simplicidade, visto que não requer informações adicionais auxiliares.

O cálculo do NDVI, para os dados obtidos pelo sensor AVHRR neste estudo, é realizado utilizando as reflectâncias de duas bandas, sendo uma localizada na região do vermelho (aproximadamente 0,6 μm) e outra na do infravermelho próximo (aproximadamente 0,8 μm) do espectro eletromagnético. Essas bandas são, respectivamente, os canais 1 e 2 (INPE). A forma do cálculo do NDVI é bastante simples e sendo definido como a diferença entre as reflectâncias do infravermelho próximo e do visível dividido pela soma destas reflectâncias e sendo adimensional (Velasco *et. al*, 2007, Godoy *et. al* 2009). A equação 2, abaixo, mostra este cálculo.

$$\text{NDVI} = (R_2 - R_1) / (R_2 + R_1) \quad (2)$$

Onde temos que:

NDVI : é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

R_1 , R_2 : são as reflectâncias dos canais 1 e 2 respectivamente.

Junges *et. al* (2007) cita o estudo de Rizzi (2004) em seu trabalho sobre o comportamento do NDVI e informa que os valores deste índice variam entre -1,0 e

+1,0, onde a vegetação está associada aos valores positivos (maior reflectância na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético). Materiais que refletem mais intensamente na porção do vermelho em comparação com o infravermelho próximo (como corpos d'água) apresentam NDVI negativo e solos descobertos e rochas refletem o vermelho e o infravermelho próximo quase na mesma intensidade, por conseguinte, seu NDVI aproxima-se de zero (Rizzi, 2004).

A representação do NDVI é feita através de mapas que podem ser gerados em intervalos quinzenais e/ou mensais, dependendo da aplicação que irá ser feita destes. Neste estudo foram utilizados mapas mensais do índice de vegetação NDVI.

Para se confeccionar os mapas do NDVI utilizou-se o método de Composição de Máximo Valor (CMV). Este método é aplicado, conforme *site* do INPE, *pixel a pixel* de todas as imagens consideradas para um determinado mês. O valor do NDVI de cada *pixel* examinado é comparado com o valor deste mesmo *pixel* da imagem seguinte. O *pixel* que apresentar o maior valor de NDVI será selecionado para compor a imagem do NDVI daquele mês. O emprego do CMV é importante para eliminar qualquer interferência de nebulosidade que possa ter passado pelas técnicas de mascaramento de nuvens e também mitigar os efeitos atmosféricos nos dados. Como a influência da atmosfera e a cobertura residual de nuvens aumentam com o comprimento do caminho ótico, esta técnica tende a selecionar os *pixels* correspondentes a um ângulo de visão próximo ao nadir e ao menor ângulo zenital solar.

Neste estudo foram utilizados alguns dias de cada mês (devido ao critério inicial adotado na seleção das imagens). Após a aplicação do teste de identificação de corpos d'água, das técnicas de mascaramento de nuvens e o método de Composição de Máximo Valor foram geradas figuras mensais do índice de vegetação NDVI para o período de dados com resolução, aproximada, de 1 km². Os dias utilizados tendo com base os dados do satélite NOAA - 14 no período de outubro/2005 até maio/2007 são mostrados na tabela 4.2.1 e para o satélite NOAA - 18 na tabela 4.2.2.

Ao se analisar as tabelas percebe-se que alguns meses tiveram mais ou menos dias considerados do que outros meses, isto se deve ao primeiro critério de seleção de imagens (identificação visual de nebulosidade sobre a área da RMRJ nas

cenos de cada um dos satélites) a serem utilizadas. Dessa forma, contabiliza-se 185 imagens para o satélite NOAA – 14, 225 para o NOAA – 18 e um total de 410 cenos.

Posteriormente é feita uma composição total do NDVI para cada um dos satélites utilizados e outra para todo o período de dados. Estas composições são realizadas de forma similar a que é feita na composição do NDVI mensal, ou seja, utilizando o método CMV para o período de dados considerado.

Tabela 4.2.1: Dias utilizados para o cálculo do NDVI mensal no período de outubro/2005 até maio/2007 baseados nos dados do satélite NOAA - 14.

MÊS/ANO	DIAS UTILIZADOS	TOTAL DE DIAS COM IMAGENS
OUTUBRO/2005	10, 11, 14, 16, 17, 21, 24	07
NOVEMBRO/2005	01, 07, 12, 15, 17, 19, 20, 21, 24, 27, 28, 29	12
DEZEMBRO/2005	04, 05, 14, 15, 16, 20, 24	07
JANEIRO/2006	08, 09, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 25, 26, 27	14
FEVEREIRO/2006	03, 04, 09, 17, 19, 26, 28	07
MARÇO/2006	01, 02, 03, 09, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 31	16
ABRIL/2006	01, 03, 05, 09, 12, 13, 14, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30	16
MAIO/2006	01, 02, 04, 05	04
JUNHO/2006	12, 13, 14, 15, 17, 20, 21, 22, 24	09
JULHO/2006	05, 06, 07, 08, 09, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 21, 23, 24, 25	16
AGOSTO/2006	06, 07, 09, 16, 17, 25, 31	07
SETEMBRO/2006	08, 11, 12, 14, 15	05
OUTUBRO/2006	15, 16, 25, 26, 29, 30, 31	07
NOVEMBRO/2006	01, 16, 17, 22, 24, 25	06
DEZEMBRO/2006	01, 03, 04, 13, 17, 18, 19, 20, 21	09
JANEIRO/2007	09, 11, 25	03
FEVEREIRO/2007	01, 03, 04, 05, 09, 10, 13, 15, 17, 23, 24	11
MARÇO/2007	06, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 25, 27, 28, 29, 30, 31	13
ABRIL/2007	01, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 24, 25, 26	10
MAIO/2007	03, 05, 06, 12, 18	05

Tabela 4.2.2: Dias utilizados para o cálculo do NDVI mensal no período de agosto/2008 até fevereiro/2010 baseados nos dados do satélite NOAA - 18.

MÊS/ANO	DIAS UTILIZADOS	TOTAL DE DIAS COM IMAGENS
AGOSTO/2008	01, 05, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 28, 29	16
SETEMBRO/2008	01, 02, 03, 04, 06, 10, 11, 12, 19, 20	10
OUTUBRO/2008	01, 15, 22, 23, 26, 29	06
NOVEMBRO/2008	04, 08, 15, 16	04
DEZEMBRO/2008	02, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 14, 24, 28, 29, 31	12
JANEIRO/2009	08, 09, 13, 23, 24, 25	06
FEVEREIRO/2009	02, 04, 06, 07, 08, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 28	17
MARÇO/2009	01, 03, 04, 05, 06, 11, 12, 19, 29, 30	10
ABRIL/2009	03, 05, 08, 10, 11, 12, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30	18
MAIO/2009	03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30	23
JUNHO/2009	02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 30	20
JULHO/2009	01, 02, 05, 07, 08, 09, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 29, 30	14
AGOSTO/2009	04, 05, 07, 09, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 28, 30, 31	14
SETEMBRO/2009	01, 02, 03, 07, 08, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 26, 27	13
OUTUBRO/2009	11, 14, 18, 21, 24, 26, 31	07
NOVEMBRO/2009	03, 04, 05, 06, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 22	12
DEZEMBRO/2009	02, 19, 20, 21, 22, 23	06
JANEIRO/2010	02, 03, 08, 09, 11, 16, 21, 29	08
FEVEREIRO/2010	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 11, 12, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 27	19

4.3 – Cálculo da Estimativa das Emissividades

A emissividade (ϵ), em um determinado comprimento de onda, pode ser definida como a razão entre a energia que um objeto emite e a energia emitida por um corpo negro, ambos à mesma temperatura. Qualquer objeto natural emite certa quantidade de energia (Liou, 1980).

O corpo negro é um conceito teórico onde um determinado objeto tem absorção e emissividade máximas, o que na natureza não ocorre. Neste a absorção e emissividade são iguais a 1 (um), em um dado comprimento de onda.

A emissividade de um objeto pode ter valor máximo igual a 1 (se o corpo for considerado um corpo negro) e um valor mínimo igual a zero (Liou, 1980). A emissividade da superfície terrestre é utilizada para a caracterização dos parâmetros à superfície (como a temperatura), como dados de entrada em métodos de correção atmosférica, em códigos de transferência radiativa entre outras aplicações.

A emissividade do solo varia de 0,85 a 0,99, dependendo do seu tipo e umidade, enquanto que a vegetação tem valor próximo a 0,98. Apesar da variação na emissividade parecer pequena, esta terá considerável influência na estimativa da temperatura da superfície (Peres, 1999).

Os cálculos das emissividades dos canais 4 e 5 e de suas respectivas diferenças foram realizados em função do índice de vegetação NDVI. A representação gráfica das emissividades foi feita através de mapas mensais no período dos dados para cada um dos satélites utilizados no estudo. A seguir tem-se as equações utilizadas neste cálculo (Cihlar, 1997)

$$E_4 = 0,9897 + 0,029 \ln(\text{NDVI}) \quad (3)$$

$$E_5 = (E_4 - E_d) \quad (4)$$

$$E_d = 0,01019 + 0,01344 \ln(\text{NDVI}) \quad (5)$$

$$E_{dp} = 1 - [(E_4 + E_5)/2] \quad (6)$$

Onde temos que:

NDVI: é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

E4, E5: são as emissividades dos canais 4 e 5 respectivamente;

E_d : é a diferença das emissividades dos canais 4 e 5 e pode ser calculado em função do NDVI;

E_{dp} : parâmetro relacionado a média das emissividades dos canais 4 e 5.

4.4 – Cálculo da Estimativa de TS

No cálculo da estimativa da temperatura da superfície (TS) da RMRJ foi utilizado o método *split-window* (SW) (Coll, 2003). Este método assume que a emissividade da superfície terrestre é previamente conhecida, o que torna mais fácil a estimativa da TS. Desta forma o problema passa a ser de natureza determinística onde os cálculos da emissividade é dependente da correção atmosférica. A determinação da emissividade é baseada na diferença de absorção entre dois canais adjacentes na porção do infravermelho termal do espectro eletromagnético inseridos na mesma janela atmosférica. Diversas formulações foram desenvolvidas com diferentes níveis de refinamento, onde a TS é geralmente expressa por meio de combinações lineares de temperaturas de brilho desses dois canais adjacentes (Peres *et. al*, 2007).

O método SW é simples, pois não necessita de informações de radiossondagens para realizar a correção atmosférica e tem uma boa eficiência computacional. Peres *et. al* (2007) cita em seu artigo que alguns autores (Becker, 1987; Wan & Dozier, 1996) mostram que a principal desvantagem deste método são os erros que podem ocorrer no cálculo da estimativa de TS devido a grande incerteza da emissividade da superfície terrestre.

A fim de se obter a estimativa de TS pelo método SW foi implementado o algoritmo para os dados do sensor AVHRR dos canais 4 e 5 (infravermelho termal), conforme é exibido na equação 7.

$$T_{SK} = A_0 + A_1(T_{b4}) + A_2(D_{IF}) + A_3(D_{IF})^2 + A_4(E_{dp}) + A_5(E_d) \quad (7)$$

Onde T_{SK} refere-se à estimativa da temperatura da superfície da área de estudo, dada em Kelvin.

A_k ($k = 0$ a 5) são os coeficientes do método SW estimados por meio da análise de regressão das radiâncias observadas e simuladas pelo *software* MODTRAN4 (*Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model*) (Peres *et. al*, 2007).

Percebe-se que a equação da estimativa de temperatura à superfície é feita em função das emissividades dos canais 4 e 5 e que estas são calculadas em função do índice de vegetação NDVI. Assim, a TS é função do NDVI.

A equação 7 mostra parâmetros que foram calculados anteriormente (itens 4.2 e 4.3) e D_{IF} que representa a diferença entre as temperaturas de brilho dos canais 4 (T_{b4}) e 5 (T_{b5}). A equação deste parâmetro é apresentada abaixo.

$$D_{IF} = (T_{b4} - T_{b5}) \quad (8)$$

O valor da estimativa da TS é dado em Kelvin e para facilitar a sua compreensão é feita a conversão para graus Celsius ($^{\circ}C$). A fórmula abaixo exhibe a conversão:

$$T_S = T_{SK} - 273,15 \quad (9)$$

Peres *et. al* (2007) mostrou que ao se comparar medidas *in situ* com as estimativas de temperatura à superfície realizadas pelo método SW estas tinham um erro (*BIAS*) em relação a primeira da ordem de 2,7 K.

O método *split-window* da estimativa de TS foi aplicado para cada um dos dias de dados que foram citados anteriormente nas tabelas 4.2.1 e 4.2.2, para os satélites NOAA – 14 e 18, respectivamente.

Para melhor analisar o fenômeno da Ilha de Calor Urbana foi realizada a composição dos maiores valores de TS para cada um dos meses do período de

dados. Posteriormente, foi confeccionada uma composição consolidada para cada um dos satélites utilizados e uma composição total para todos os dados. Para se realizar estas composições foi aplicado o mesmo método CMV utilizado no cálculo do NDVI. A escolha dos maiores valores da temperatura à superfície deve-se ao fato de o fenômeno estudado ser caracterizado por temperaturas elevadas.

A composição dos maiores valores de TS em Abril/2009 não foi realizada por ausência de dados dos canais 4 e 5 do satélite NOAA – 18 para os dias selecionados, sendo somente feito o cálculo do NDVI.

É importante destacar que esses maiores valores de TS não são as temperaturas máximas como se conhece em Meteorologia, mas sim os maiores valores que são estimados para a área da RMRJ.

Com base nas composições dos maiores valores de TS foram elaborados *transectors* em latitudes específicas das composições para cada período de dados. A partir disto foram gerados gráficos denominados de perfis térmicos, que permitem visualizar a variação de TS de acordo com o espaço, representado pelas longitudes.

4.5 – Coeficientes de Correlação, de Determinação, Regressão Linear, Desvio - Padrão e Valor Quadrático Médio.

4.5.1 – Cálculo do Coeficiente de Correlação e Regressão Linear

A correlação é a medida padronizada da relação entre duas variáveis aleatórias X e Y, sem considerar as unidades de medidas dessas variáveis. Indica o grau de relação entre essas variáveis, sendo estas classificadas como independente (X) e dependente (Y).

O coeficiente de correlação (R) é dado pela equação 10.

$$R = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x) \cdot (\sum y)}{n}}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right] \cdot \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right]}} \quad (10)$$

O valor de R estará sempre entre -1 e $+1$, ou seja, $-1 \leq R \leq +1$. Caso o coeficiente de correlação esteja mais próximo de $+1$ indicará que há uma forte correlação positiva, se mais próximo de -1 que há uma forte correlação negativa. Caso esteja próximo à zero (0) indicará que não há correlação.

Uma das formas de explicitar a relação entre duas variáveis é a regressão linear. Seu objetivo é descrever, através de um modelo matemático, a relação existente entre as variáveis de um conjunto de dados. Este modelo matemático possibilita estimar um valor para Y , sendo conhecido um valor para X .

Como foi mostrado anteriormente, a equação da estimativa da temperatura da superfície é dependente das emissividades e estas do índice de vegetação utilizado no estudo. Assim, a TS é indiretamente dependente do NDVI. Dessa forma, foi calculado o coeficiente de correlação onde o NDVI mensal será a variável X (independente) e a composição dos maiores valores de TS será a variável Y (dependente) para cada mês do período de dados. Isto também é feito entre todos os dados do satélite NOAA – 14 e 18 e para os dois conjuntos de dados. O objetivo desde cálculo é mostrar a relação entre o NDVI e a composição dos maiores TS mensais.

Em seguida foram realizadas regressões lineares com o intuito de se encontrar equações que descrevam a relação entre o índice de vegetação NDVI e a composição dos maiores TS mensais.

4.5.2 – Cálculo do Coeficiente de Determinação

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida útil que está associada à reta de regressão indicando o quanto as estimativas baseadas na equação de regressão superam as estimativas baseadas no valor médio de Y (no caso do estudo, TS). Assim, este coeficiente pode ser definido como o grau de ajuste da reta estimada ao conjunto de dados.

O cálculo deste coeficiente é simples, basta elevar o coeficiente de correlação (R) ao quadrado e multiplicar por 100%. Seu valor indicará que a variação da variável Y é explicada pela porcentagem da relação com a variável X. Por exemplo, se uma relação possui coeficiente de correlação 0,80 terá um coeficiente de determinação de 64%, indicando que a variação dos Y's é explicada em 64% pela relação com X.

4.5.3 – Cálculo do Desvio – Padrão

A medida de dispersão mais usada é o desvio – padrão e pode ser definido como sendo o grau de dispersão do conjunto de dados em relação à própria média deste conjunto. Esta indica o quão próximos (valores pequenos) ou distantes (maiores valores) estão da média. O seu cálculo é mostrado na equação 11.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (11)$$

Onde temos que:

s : é o desvio – padrão;

x_i : representa cada elemento que forma o conjunto de dados;

\bar{x} : é a média dos valores que formam o conjunto de dados;

N : é a quantidade de elementos que formam o conjunto de dados.

5 – RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados encontrados para o estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana na área da RMRJ utilizando os dados dos satélites NOAA-14 e 18. A tabela 5.1 exibe os meses aqui analisados de cada plataforma orbital. Os meses foram selecionados por apresentarem significativa quantidade de dias com dados e por possibilitarem a análise da evolução temporal do fenômeno.

Tabela 5.1: Meses apresentados nos resultados para os satélites NOAA-14 e 18.

NOAA-14	NOAA-18
Outubro/2005	Agosto/2008
Janeiro/2006	Dezembro/2008
Abril/2006	Fevereiro/2009
Julho/2006	Agosto/2009
Outubro/2006	Outubro/2009
Dezembro/2006	Fevereiro/2010
Fevereiro/2007	
Maio/2007	

5.1 – Resultados do Índice de Vegetação NDVI

Nesta seção serão apresentados os mapas gerados para o índice de vegetação NDVI nos satélites NOAA – 14 e 18, o consolidado para cada satélite e para todo o período de dados.

As figuras 5.1.1 a 5.1.8 exibem as mapas relativos aos cálculos do índice de vegetação NDVI para o satélite NOAA – 14, enquanto que as figuras 5.1.9 até 5.1.14 são referentes ao NOAA - 18 para os meses informados na tabela 5.1.

Nas figuras do índice de vegetação percebe-se que as áreas correspondentes ao Oceano Atlântico, que banha a região do estudo, e aquelas fora

da delimitação da área de interesse são representadas pela cor branca. Esta mesma cor também é utilizada para representar os *pixels* contaminados pela presença de nebulosidade. Estes pontos ocorrem em pequena quantidade devido à utilização do método CMV para a composição dos mapas de NDVI.

Nestas figuras representativas do índice de vegetação temos que as cores em tons de vermelho representam os menores valores de NDVI, o que indica áreas com pouca ou quase nenhuma vegetação. As tonalidades em azul são representativas dos maiores valores de NDVI e indicando regiões vegetadas.

Observa-se nas figuras do índice de vegetação mensais para os satélites NOAA – 14 e 18 que a área compreendida entre as latitudes de 22,7°S a 23,0°S e longitudes de 43,5°W até, aproximadamente, 43,2°W detém os menores valores de NDVI, sendo em algumas localidades dessa região com valores inferiores a 0,1 em todos os meses apresentados nos dois satélites. Esta região de reduzido NDVI engloba porções de alguns municípios da Baixada Fluminense, (como: Duque de Caxias, São João de Meriti, Nilópolis, Mesquita, Nova Iguaçu e Belford Roxo), além de parte da cidade do Rio de Janeiro (bairros como Centro, Irajá, Pavuna, Penha).

A explicação para esta região ter valores tão baixos do NDVI é que ela reflete quase a mesma quantidade de radiação no comprimento de onda do vermelho e do infravermelho próximo, o que é característico de áreas com pouca ou nenhuma vegetação (áreas intensamente urbanizadas).

Notam-se áreas na cidade do Rio de Janeiro com valores do índice de vegetação mais elevados, se comparados às áreas em seu entorno. Estas localidades são os maciços da cidade do Rio de Janeiro: o primeiro, ao norte – entre as coordenadas de latitudes 22,8°S a 22,9°S e longitudes 43,4°W a 43,6°W – denominado de maciço de Gericinó. O segundo, atravessando a cidade de leste a oeste entre as latitudes de 22,9°S a 23,0°S e longitudes 43,4°W a 43,6°W, chamado de maciço da Pedra Branca. Por último o maciço da Tijuca, mais ao sul, entre 22,9°S a 23,0°S de latitudes e de 43,2°W a 43,4°W nas longitudes. Ao norte da RMRJ (onde se localiza a Serra do Mar), e uma série de maciços próximos ao litoral da cidade de Niterói também se observa valores do NDVI mais altos (acima de 0,5).

Isto é explicado por as áreas acima citadas terem maior reflectância na faixa de radiação do infravermelho, o que é característico de localidades com vegetação. Superfícies vegetadas absorvem o comprimento de onda relativo ao

vermelho, para realizarem seus processos fisiológicos sem que haja prejuízo para a mesma, refletindo o infravermelho.

Portanto, a análise do índice de vegetação mostrou que os seus maiores valores ocorrem nas áreas onde há vegetação e os menores NDVI nas regiões onde há pouca ou quase nenhuma vegetação, como era o esperado.

Nas áreas entre os maciços da cidade do Rio de Janeiro (denominada de Zona Oeste) e na porção oeste entre os municípios de Niterói e São Gonçalo (próximo a Baía de Guanabara, entre as latitudes de 22,8°S a 22,9°S e longitudes de 43,0°W até 43,1°W) percebe-se a sazonalidade do índice de vegetação. Nos meses de abril/2006 e julho/2006 (para o NOAA – 14) e agosto/2008 e agosto/2009 (no NOAA – 18) o NDVI tem baixos valores (em torno de 0,2) e nos meses de janeiro/2006, dezembro/2006, fevereiro/2007, dezembro/2008, fevereiro/2009 e fevereiro/2010 os valores do índice de vegetação são mais elevados (entre 0,3 a, aproximadamente, 0,6). Essas localidades são caracterizadas por terem, simultaneamente, áreas urbanizadas e ainda manterem áreas vegetadas.

Esta mesma sazonalidade também é notada nos maciços do Rio de Janeiro e Niterói e na Serra do Mar (áreas que detêm os maiores valores de NDVI), onde no período de outono/inverno o índice de vegetação atinge os seus valores mais baixos (entre 0,4 a 0,5 nos meses do NOAA – 14 e acima de 0,55 para o NOAA – 18). Já nos meses de primavera/verão o NDVI atinge valores entre 0,5 e 0,6 (NOAA – 14) e acima de 0,6 (NOAA – 18).

Assim, nos meses de outono/inverno devido à diminuição da área foliar ocorre a redução do índice de vegetação, enquanto que nos meses de primavera/verão (quando ocorre a elevação da precipitação) as árvores florescem e aumentam a área foliar fazendo com que ocorra elevação do NDVI.

Na região com os mais baixos valores do índice de vegetação não é possível visualizar essa sazonalidade da mesma forma que em outras áreas da RMRJ. Isto deve-se a esta região ser caracterizada pela quase total ausência de áreas vegetadas, assim mantendo os valores do NDVI abaixo de 0,15.

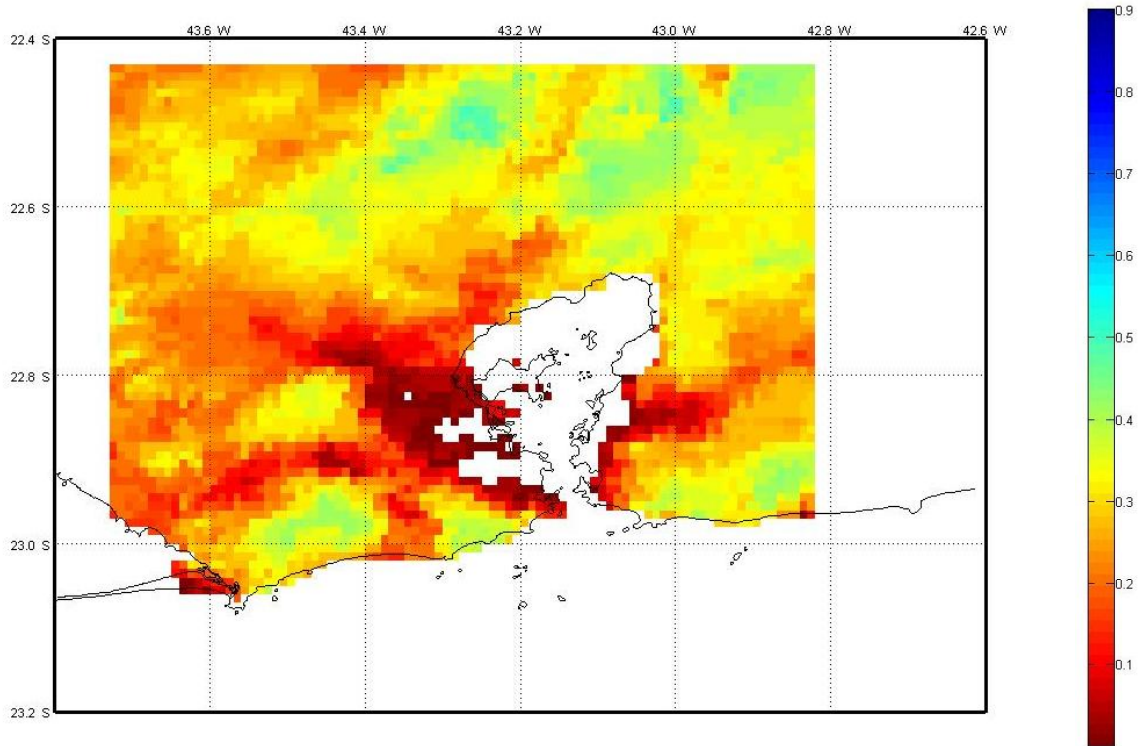


Figura 5.1.1: NDVI da RMRJ para Outubro/2005 na RMRJ (NOAA – 14)

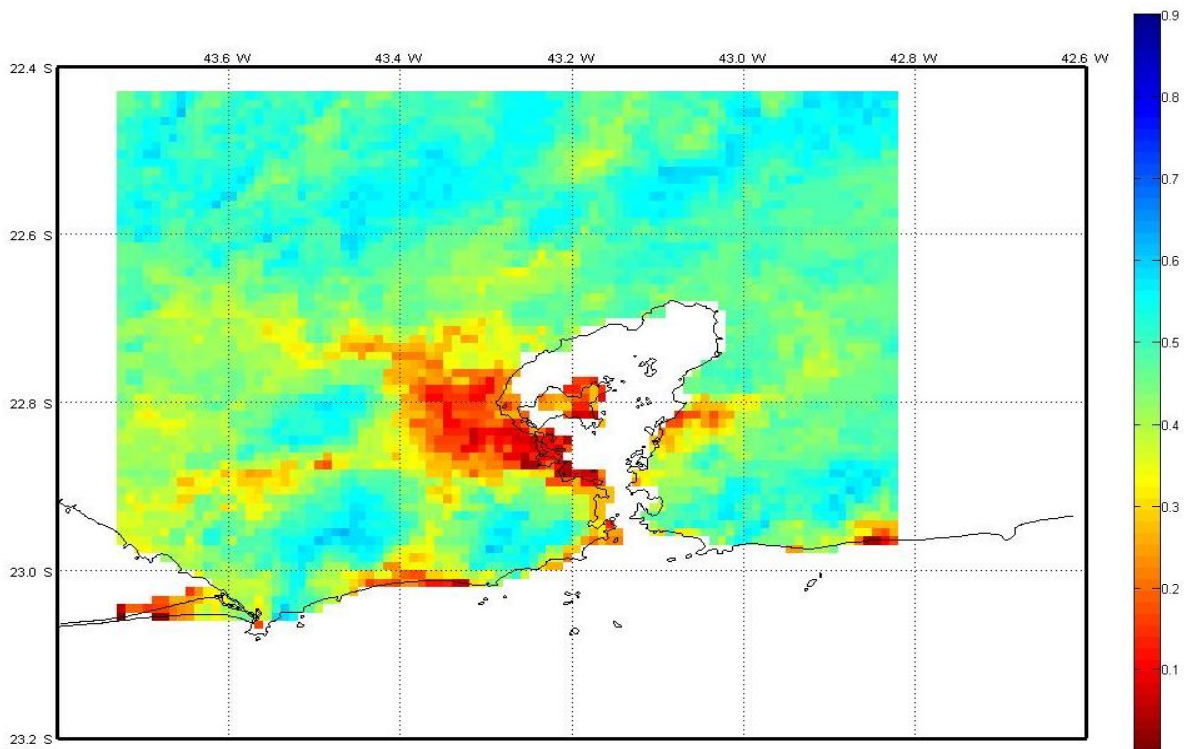


Figura 5.1.2: NDVI da RMRJ para Janeiro/2006 na RMRJ (NOAA – 14)

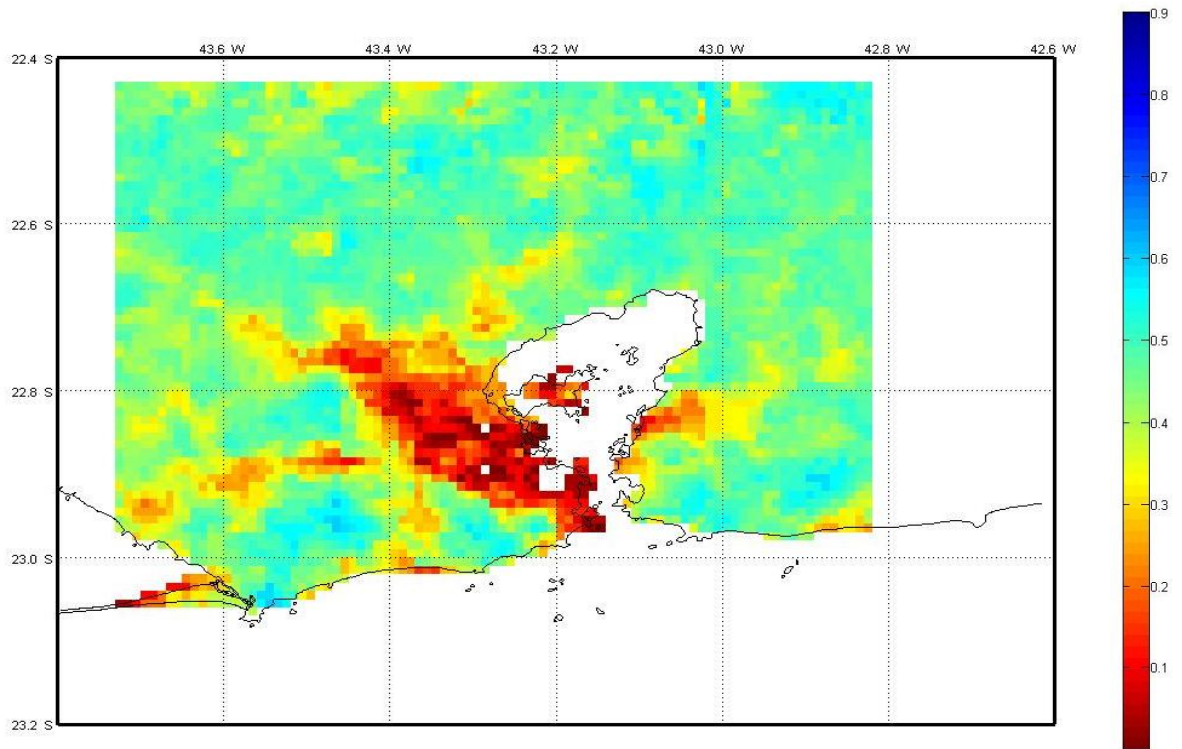


Figura 5.1.3: NDVI da RMRJ para Abril/2006 na RMRJ (NOAA – 14)

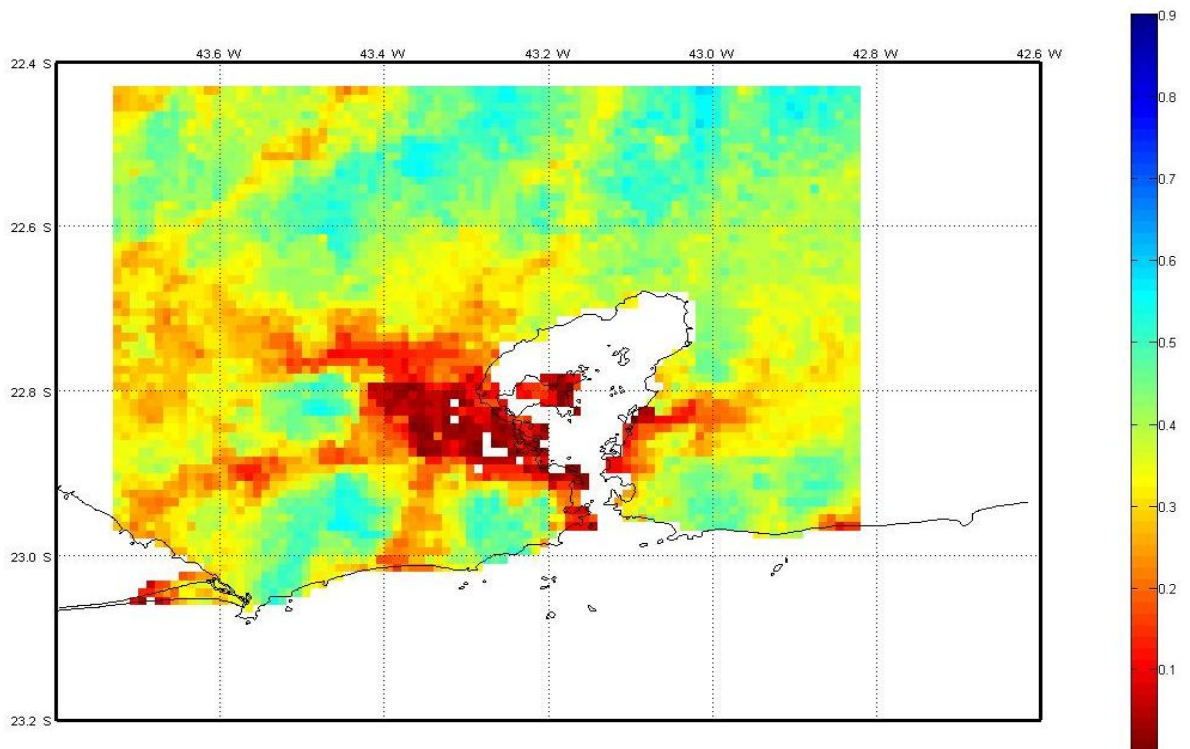


Figura 5.1.4: NDVI da RMRJ para Julho/2006 na RMRJ (NOAA – 14)

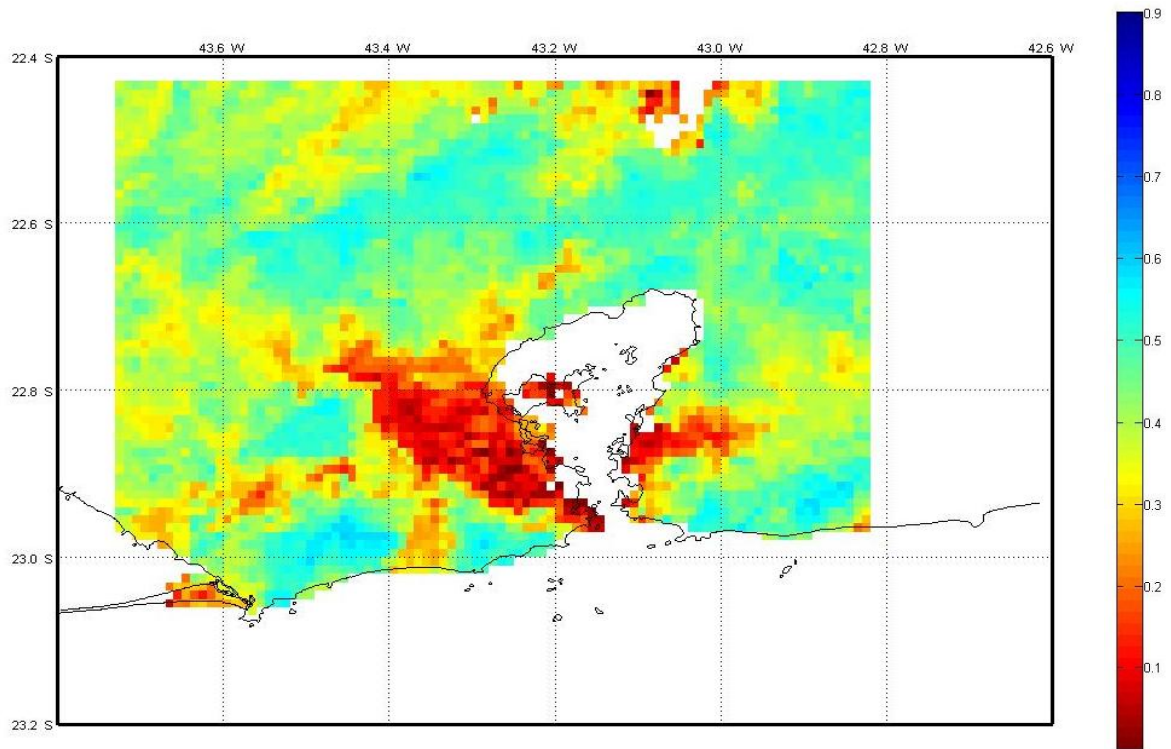


Figura 5.1.5: NDVI da RMRJ para Outubro/2006 na RMRJ (NOAA – 14)

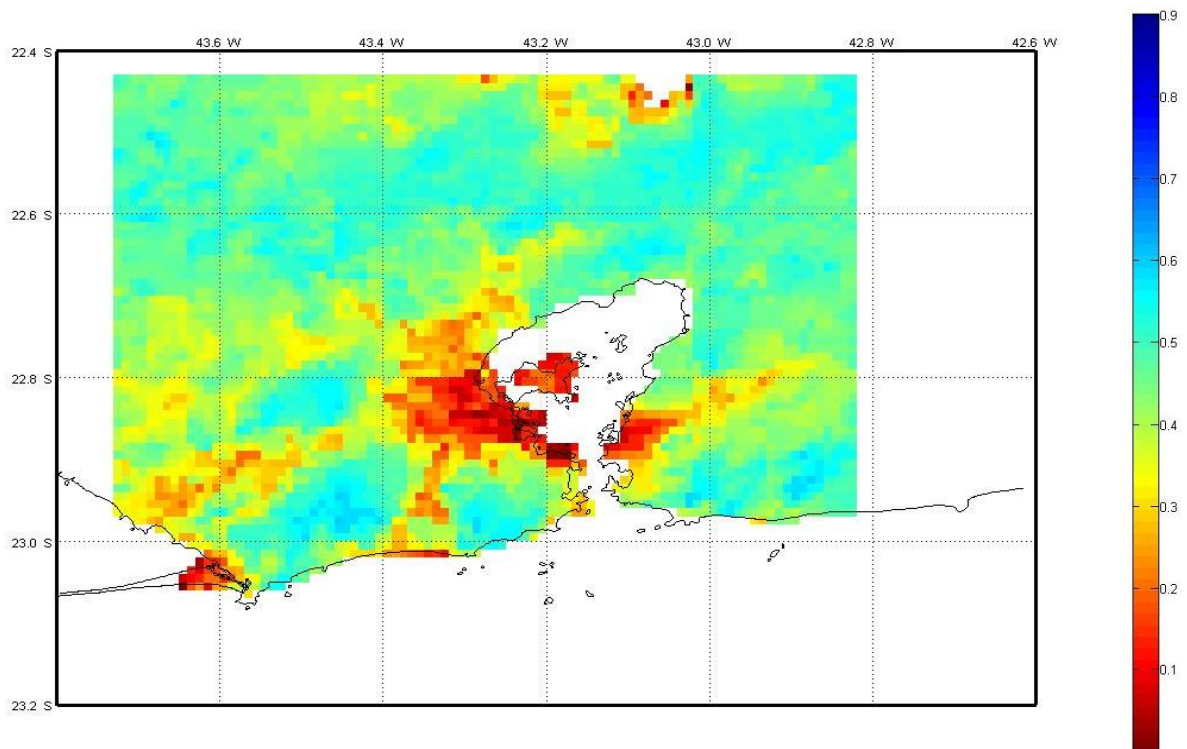


Figura 5.1.6: NDVI da RMRJ para Dezembro/2006 na RMRJ (NOAA – 14)

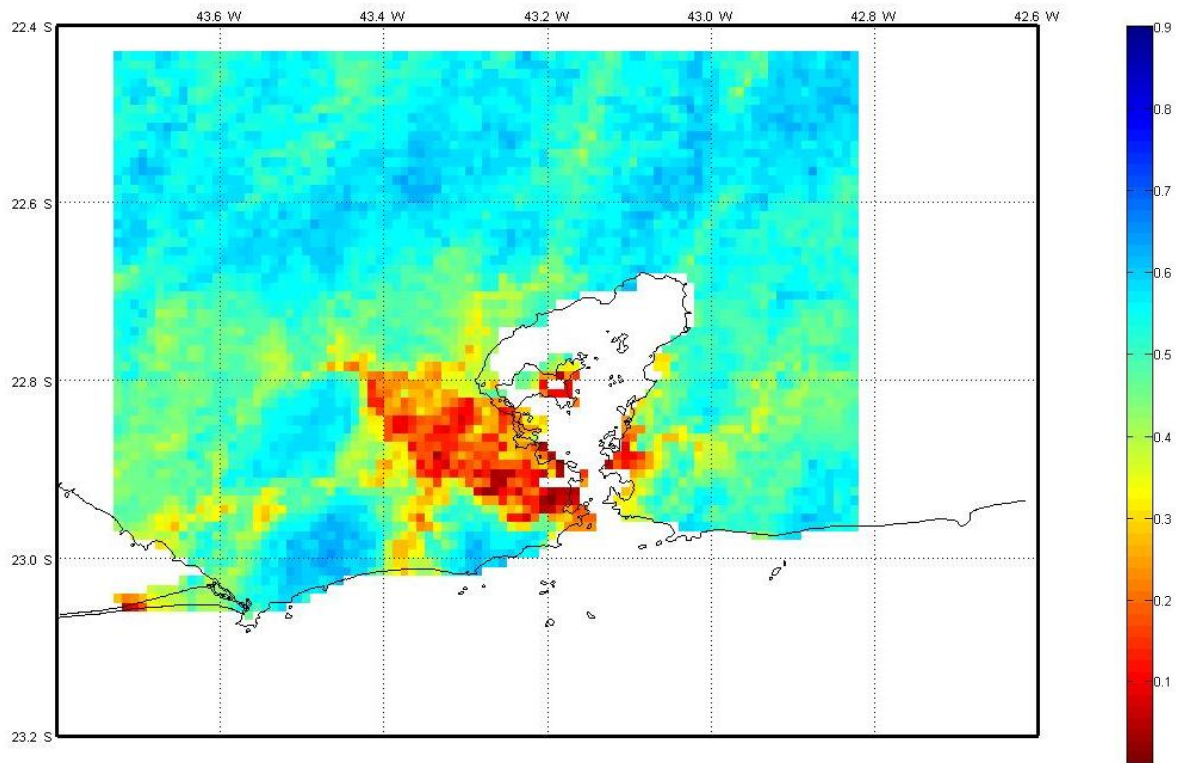


Figura 5.1.7: NDVI da RMRJ para Fevereiro/2007 na RMRJ (NOAA – 14)

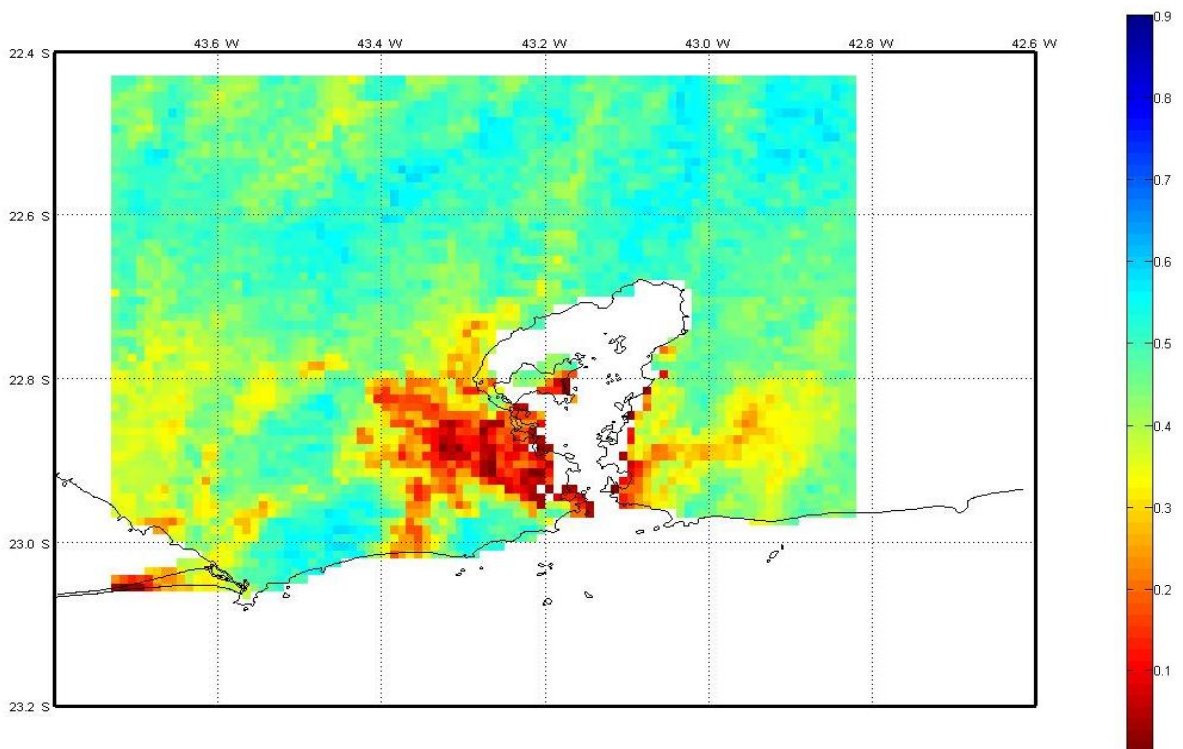


Figura 5.1.8: NDVI da RMRJ para Maio/2007 na RMRJ (NOAA – 14)

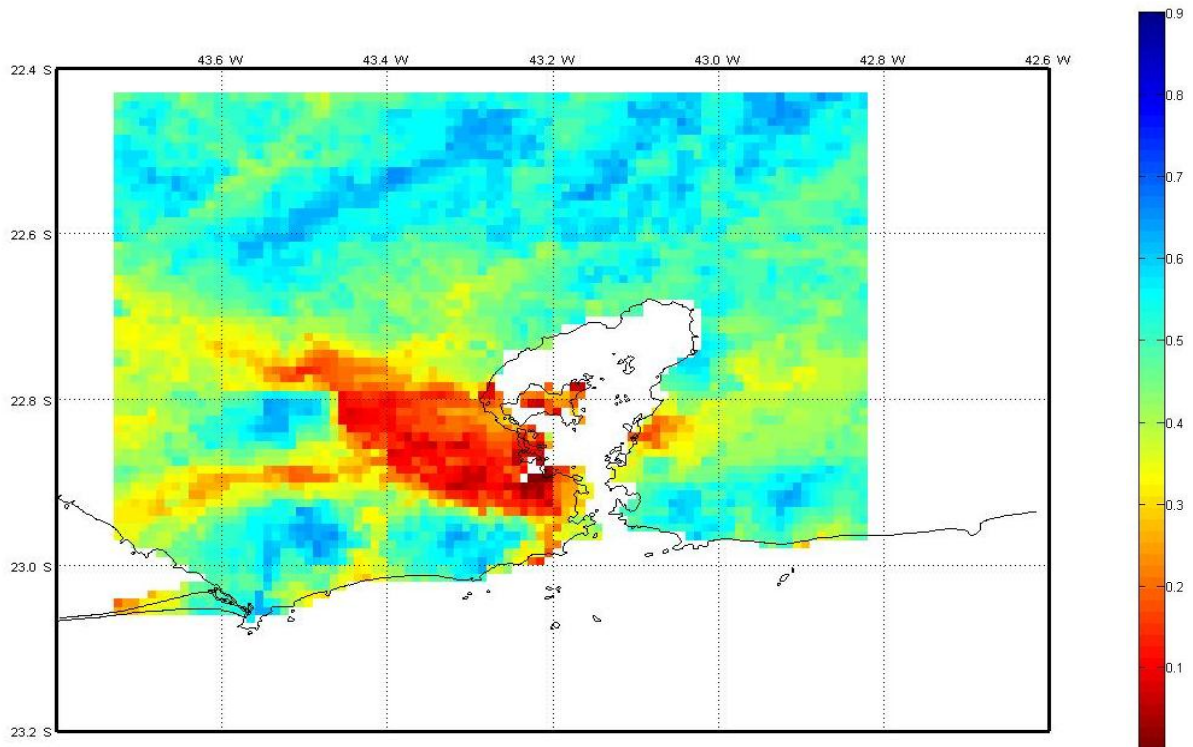


Figura 5.1.9: NDVI da RMRJ para Agosto/2008 na RMRJ (NOAA – 18)

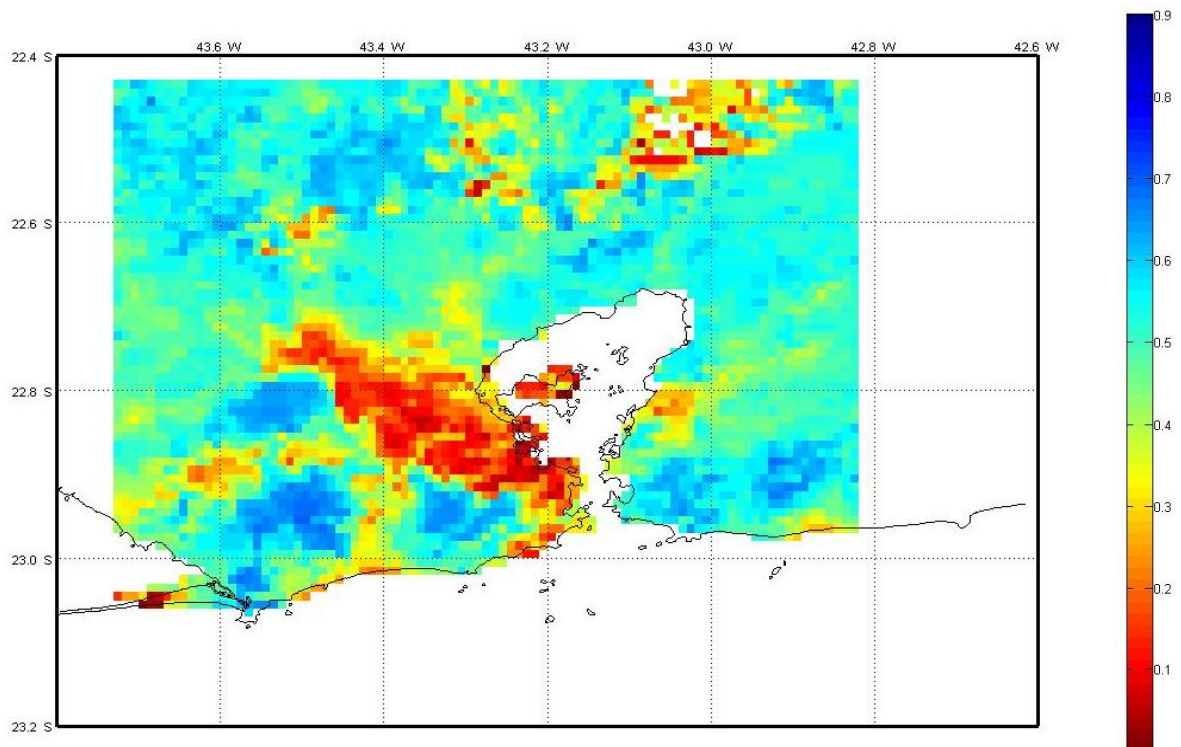


Figura 5.1.10: NDVI da RMRJ para Dezembro/2008 na RMRJ (NOAA – 18)

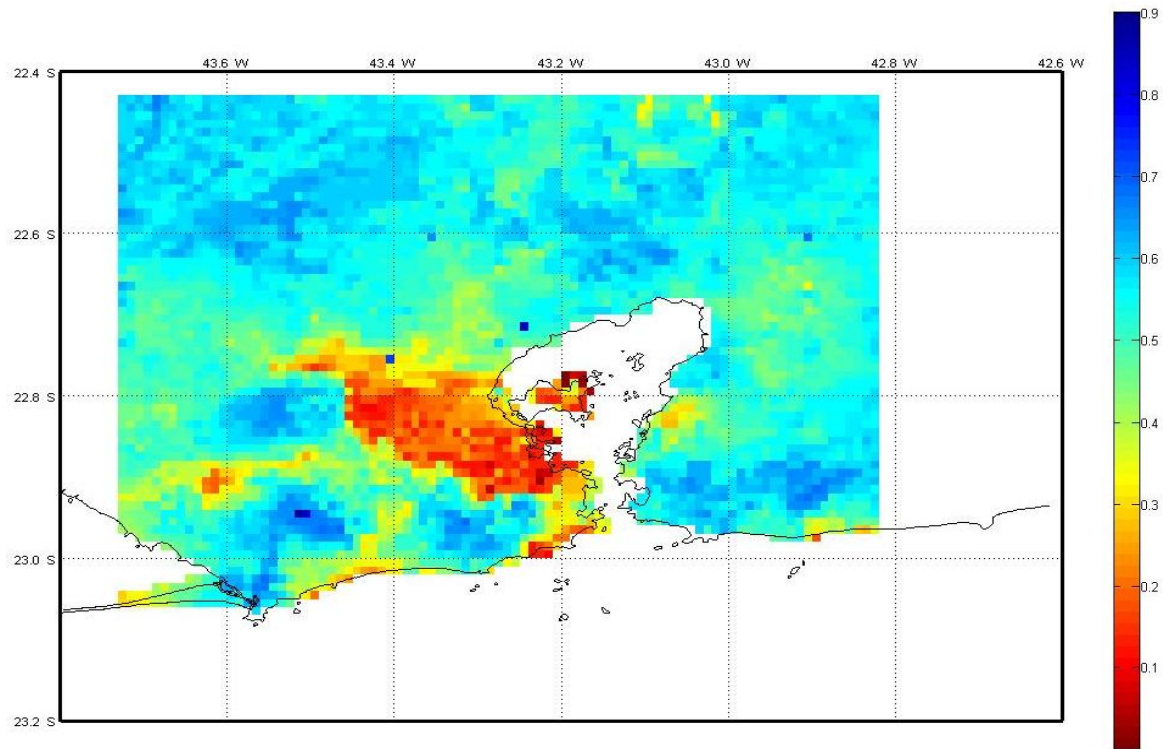


Figura 5.1.11: NDVI da RMRJ para Fevereiro/2009 na RMRJ (NOAA – 18)

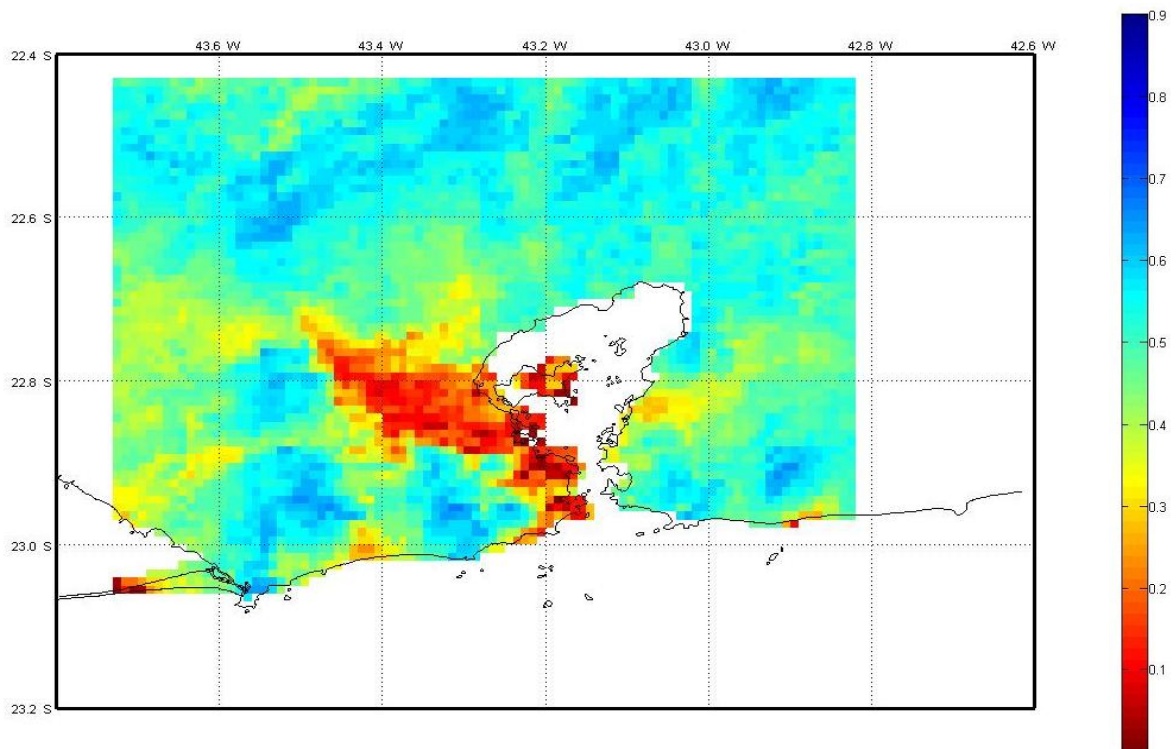


Figura 5.1.12: NDVI da RMRJ para Agosto/2009 na RMRJ (NOAA – 18)

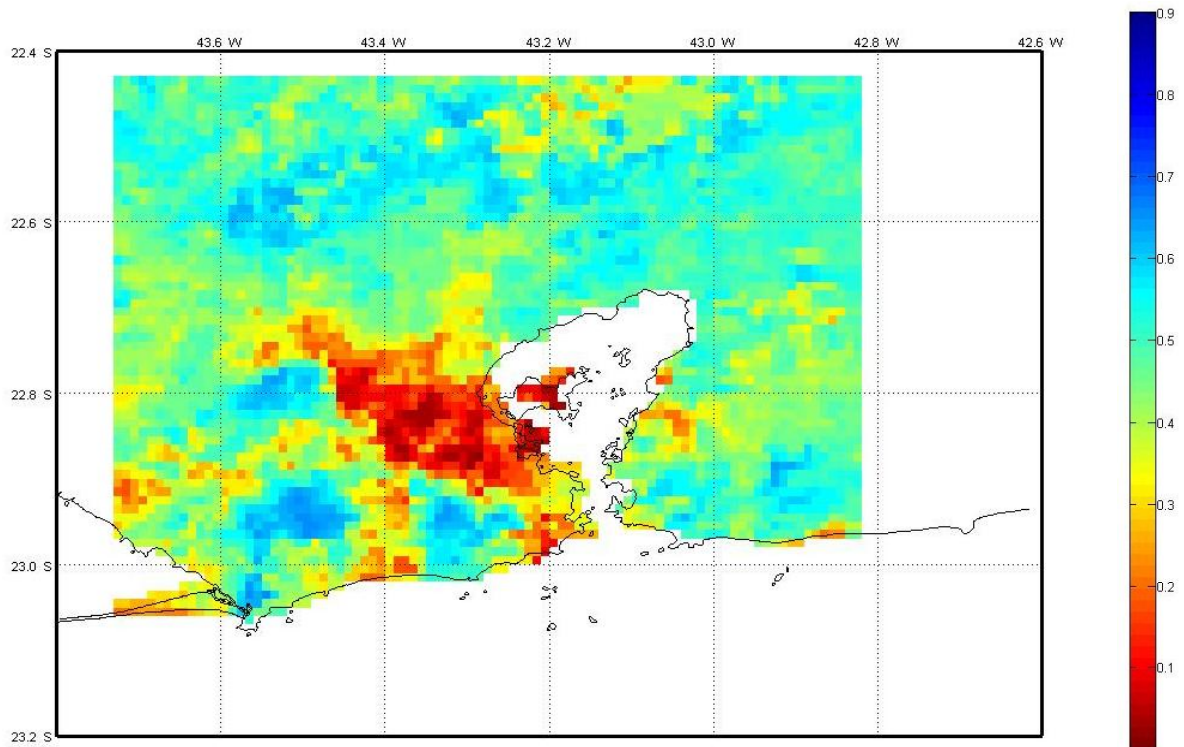


Figura 5.1.13: NDVI da RMRJ para Outubro/2009 na RMRJ (NOAA – 18)

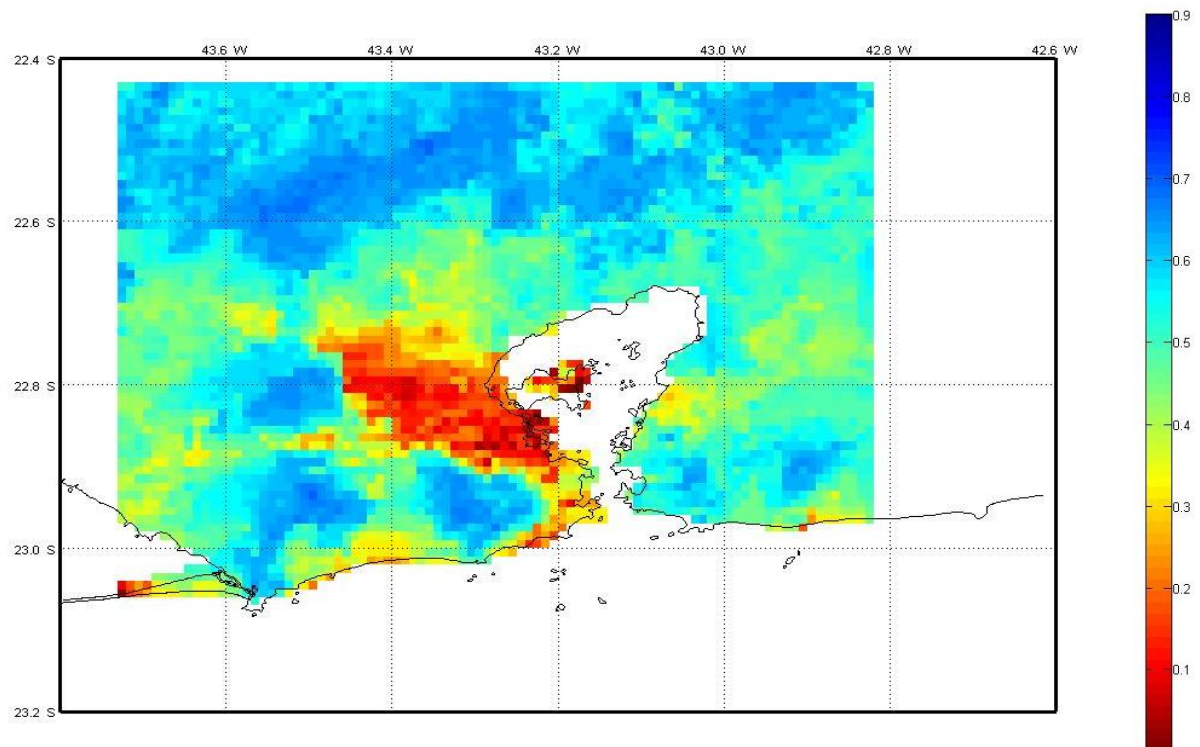


Figura 5.1.14: NDVI da RMRJ para Fevereiro/2010 na RMRJ (NOAA – 18)

As figuras 5.1.15 e 5.1.16 são representativas do NDVI para cada conjunto de dados relativos aos satélites utilizados no estudo, sendo

respectivamente, para o NOAA – 14 e NOAA – 18. A figura 5.1.17 é referente ao NDVI para todo o período de dados. O padrão de cores nestas imagens é o mesmo daquele utilizado nas figuras do NDVI mensal apresentadas anteriormente.

Analisando as duas figuras consolidadas do NDVI percebe-se que as áreas com os maiores valores do índice de vegetação (consideradas áreas vegetadas) e as áreas com baixos valores de NDVI (áreas com pouca ou quase nenhuma vegetação) permanecem as mesmas quando comparadas as imagens mensais.

Ao se comparar as imagens consolidadas dos dois satélites pode-se perceber que as áreas consideradas como vegetadas (maiores valores de NDVI) detém valores mais elevadas do índice de vegetação no satélite NOAA – 18 do que no NOAA – 14. Também nota-se uma “expansão” da área com os mais reduzidos valores de NDVI em direção a oeste na figura do NOAA – 18 em relação ao NOAA – 14. Isto pode estar relacionado aos horários das imagens de cada satélite (entre as 8h e 9h local no NOAA – 14 e entre as 13h e 14h local no NOAA - 18). No início da manhã a radiação solar incidente forma um menor ângulo com a superfície terrestre (em comparação ao período da tarde), indicando um maior caminho ótico a ser percorrido por esta radiação. Esta condição favorece as atenuações da radiação solar incidente e uma menor radiação incidente pela manhã. Ainda há o fato de que a vegetação absorve quase totalmente a porção vermelha e reflete a porção infravermelha do espectro eletromagnético. Estas duas condições contribuem para que o valor do NDVI na parte da tarde seja maior do que no início da manhã.

A análise da figura 5.1.17 possibilita identificar, assim como nas figuras anteriores do índice de vegetação, as áreas com os mais altos valores do NDVI, em torno de 0,6, nos maciços das cidades do Rio de Janeiro e Niterói e a Serra do Mar, ao norte da RMRJ. A área com os menores valores do índice (valores entre 0,2 e 0,3) entre o oeste da cidade do Rio de Janeiro e porções de municípios que formam a Baixada Fluminense. Também é possível identificar ao redor desta última região valores de NDVI entre 0,4 e 0,5, que pode ser classificada como uma área de transição que contém áreas urbanizadas com algumas regiões vegetadas.

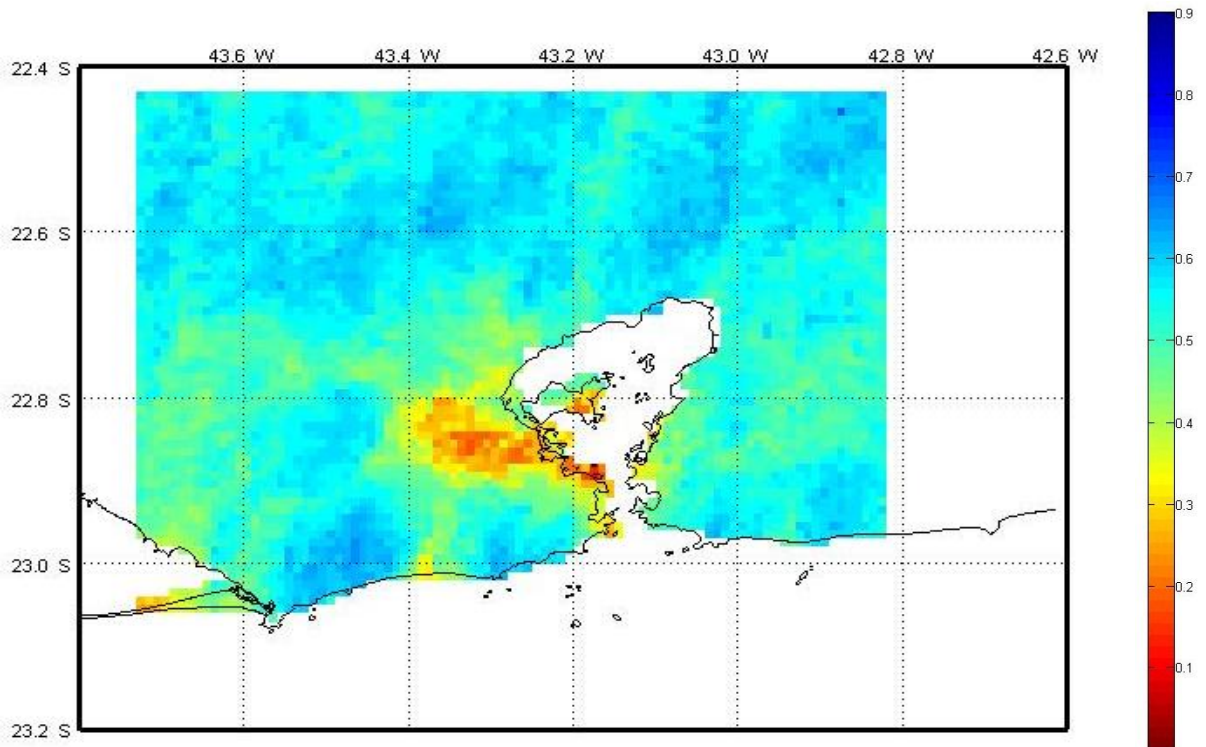


Figura 5.1.15: NDVI da RMRJ para satélite NOAA – 14.

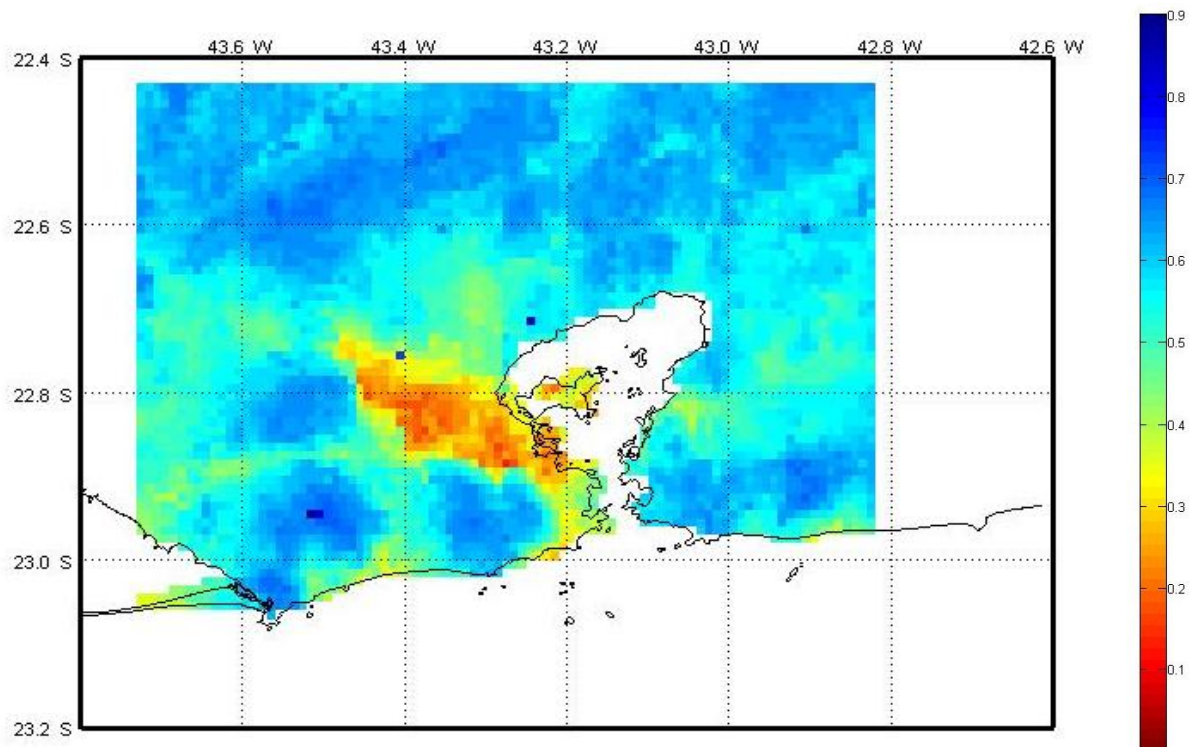


Figura 5.1.16: NDVI da RMRJ para satélite NOAA – 18.

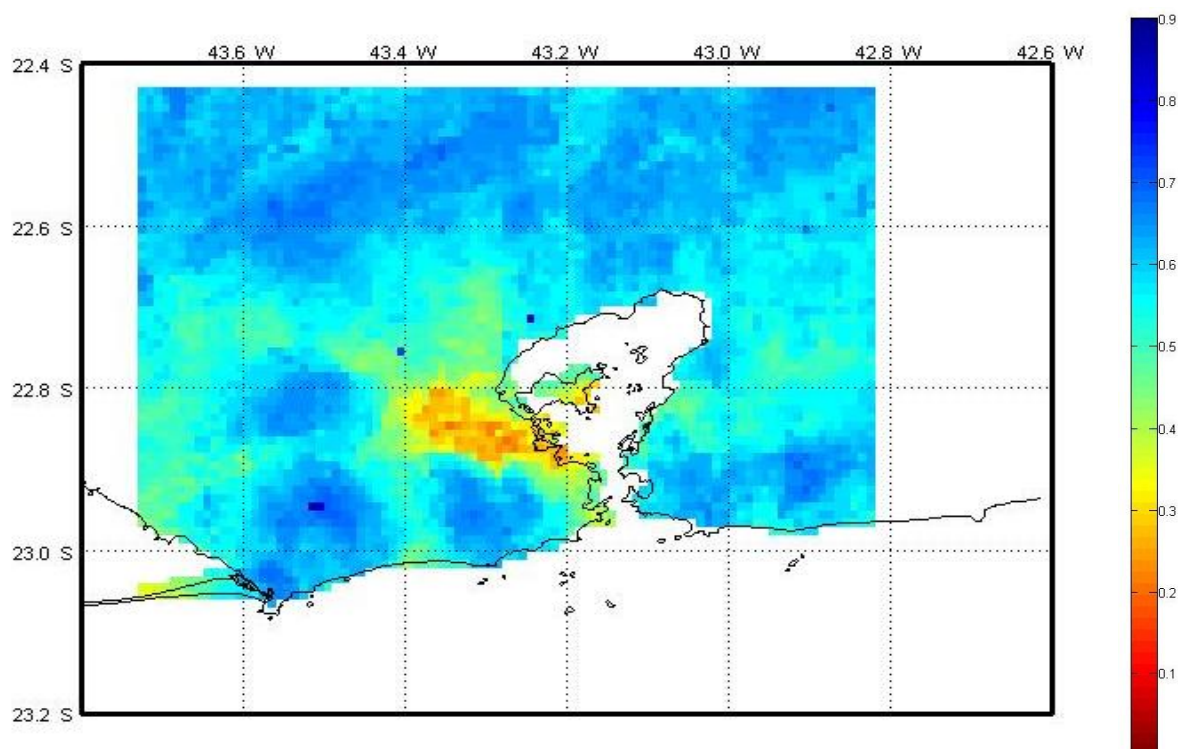


Figura 5.1.17: NDVI da RMRJ os dois conjuntos de dados.

5.2 – Resultados das emissividades dos canais 4 e 5

Nesta seção são apresentados os resultados encontrados para as emissividades dos canais 4 e 5, calculados a partir dos dados dos satélites NOAA – 14 e 18, a consolidação para cada um dos satélites em relação ao período de dados dele e as emissividades totais ao longo do período.

As figuras 5.2.1 até 5.2.8 mostram a espacialização da emissividade do canal 4, de 5.2.9 a 5.2.16 do canal 5 para o satélite NOAA – 14. Para o outro satélite, as emissividades dos canais 4 e 5 são exibidas, respectivamente, nas figuras 5.2.17 até 5.2.22 e de 5.2.23 a 5.2.28. As figuras 5.2.29 a 5.3.32 são representativas da consolidação das emissividades para os dois conjuntos de dados, sendo as figuras ímpares para o canal 4 e as pares para o canal 5. As imagens 5.2.33 e 5.2.34 são, respectivamente, para todo o período de dados do canal 4 e 5.

Nestas imagens temos que os menores valores das emissividades, independente dos canais e dos satélites, são representados pelas cores em tons de

azul. Já os maiores valores nos tons mais avermelhados. As áreas correspondentes ao Oceano Atlântico e aquelas fora da área do estudo são representadas pela cor branca. Esta mesma cor também é usada para exibir os *pixels* que estejam contaminados por nebulosidade.

Nas imagens das emissividades dos canais 4 e 5 (tanto as mensais como as consolidadas para cada satélite e as totais no período de dados) percebe-se que as áreas identificadas por maiores valores de NDVI (maciços das cidades do Rio de Janeiro e Niterói e a Serra do Mar, ao norte da área do estudo) são aquelas que exibem os mais elevados valores de emissividade em ambos os canais. Estes valores são próximos àqueles indicados na literatura (em torno de 0,98) ao longo do ano. Isto é relacionado às emissividades serem calculadas em função do NDVI e quando o índice de vegetação aumenta as emissividades também se elevam.

Nas figuras das emissividades nos dois canais em ambos os satélites percebe-se que a área mais a leste da cidade do Rio de Janeiro (próxima a Baía de Guanabara) e porções de alguns municípios da Baixada Fluminense próximo a essa área do município do Rio de Janeiro exibem os valores mais baixos de emissividades (variando entre 0,89 a 0,92). O fato é relacionado a esta região deter os mais baixos valores de NDVI (áreas com pouca ou nenhuma vegetação), a influência direta desta variável no cálculo das emissividades. Além disto, os materiais utilizados na urbanização desta área absorvem mais energia que emitem, o que acarreta em aumento de temperatura da superfície.

Ao se comparar os valores das emissividades nos dois canais entre os satélites NOAA – 14 e 18 nas áreas consideradas como vegetadas percebe-se que este último exhibe valores ligeiramente mais elevados (cerca de 0,1) que o primeiro. Esta condição pode ser explicada pela dependência do NDVI no cálculo das emissividades. Além disto, há o fato de os valores do NDVI calculados a partir dos dados do NOAA – 18 serem superiores àqueles calculados com os dados do outro satélite.

Ao se analisar a evolução temporal dos mapas de emissividades nos dois canais e satélites percebe-se a ocorrência da sazonalidade (ainda que com pequena variação nos valores), sendo os meses de outono/inverno aqueles que registram os valores mais reduzidos e na primavera/verão os mais elevados. A variação das emissividades é relacionada com a variação do NDVI e da umidade no solo. Esta é

relacionada com o regime de precipitação, sendo menor no período mais seco. O anexo A exibe os mapas da precipitação interpolada onde é possível notar que o período mais seco ocorre nos meses de outono/inverno.

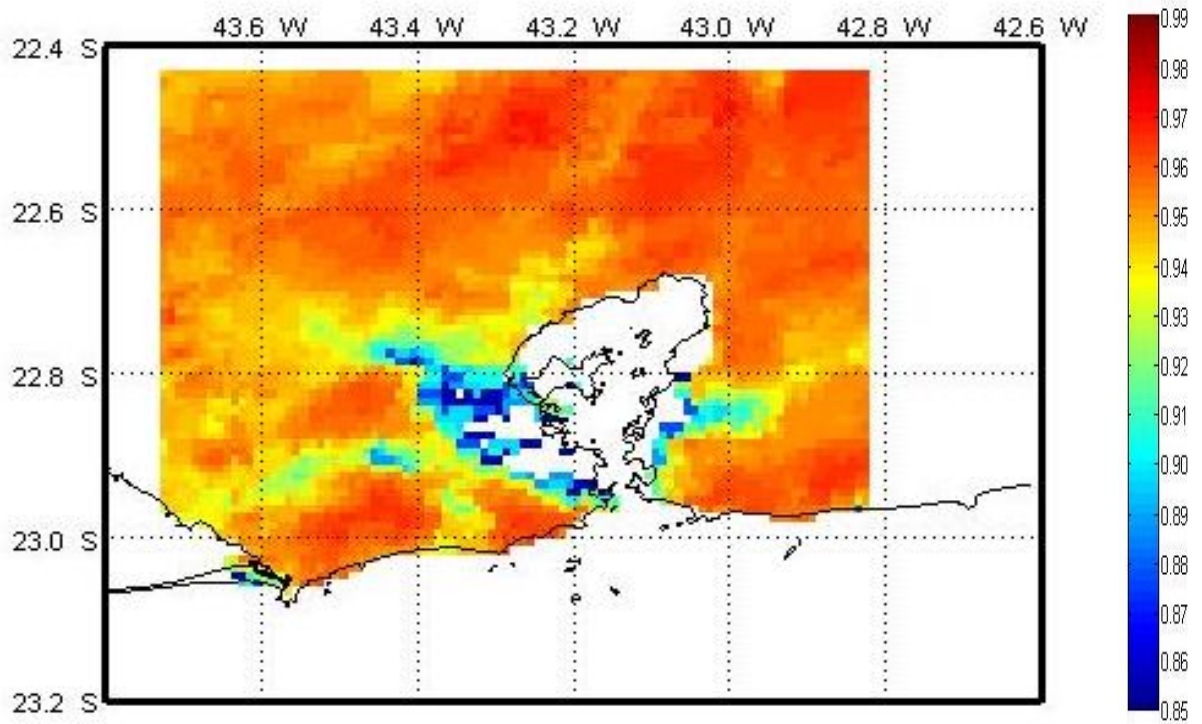


Figura 5.2.1: Emissividade do canal 4 em Outubro/2005 (NOAA – 14).

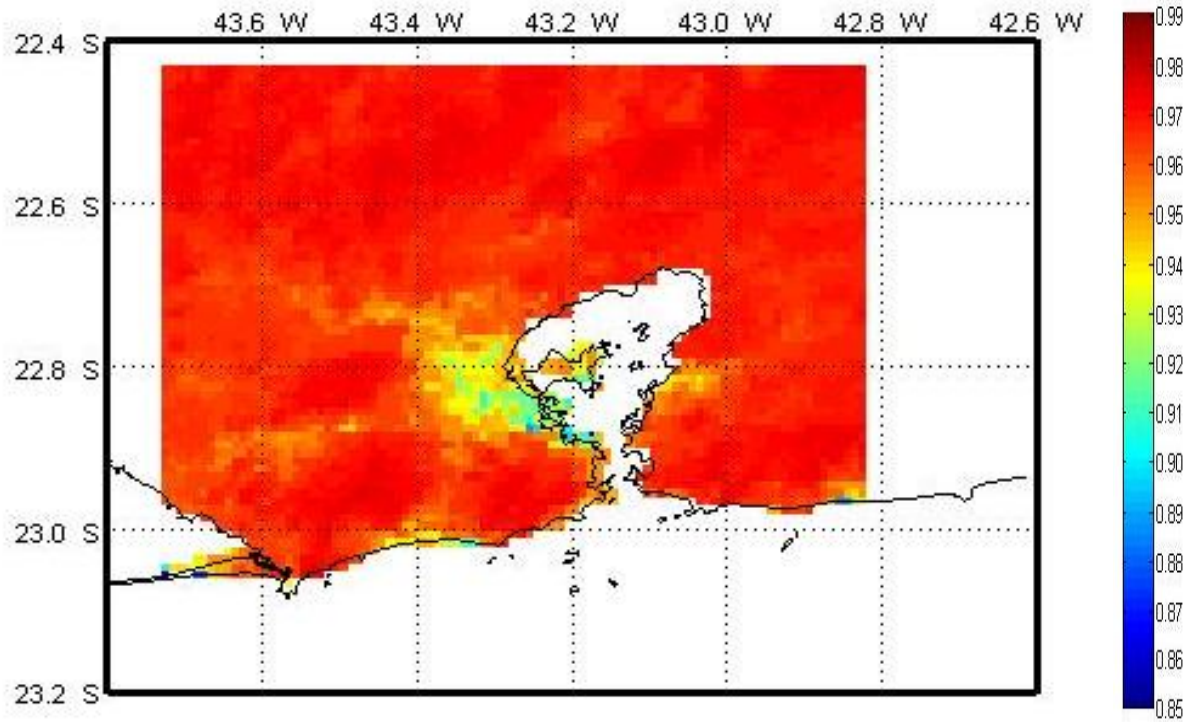


Figura 5.2.2: Emissividade do canal 4 em Janeiro/2006 (NOAA – 14).

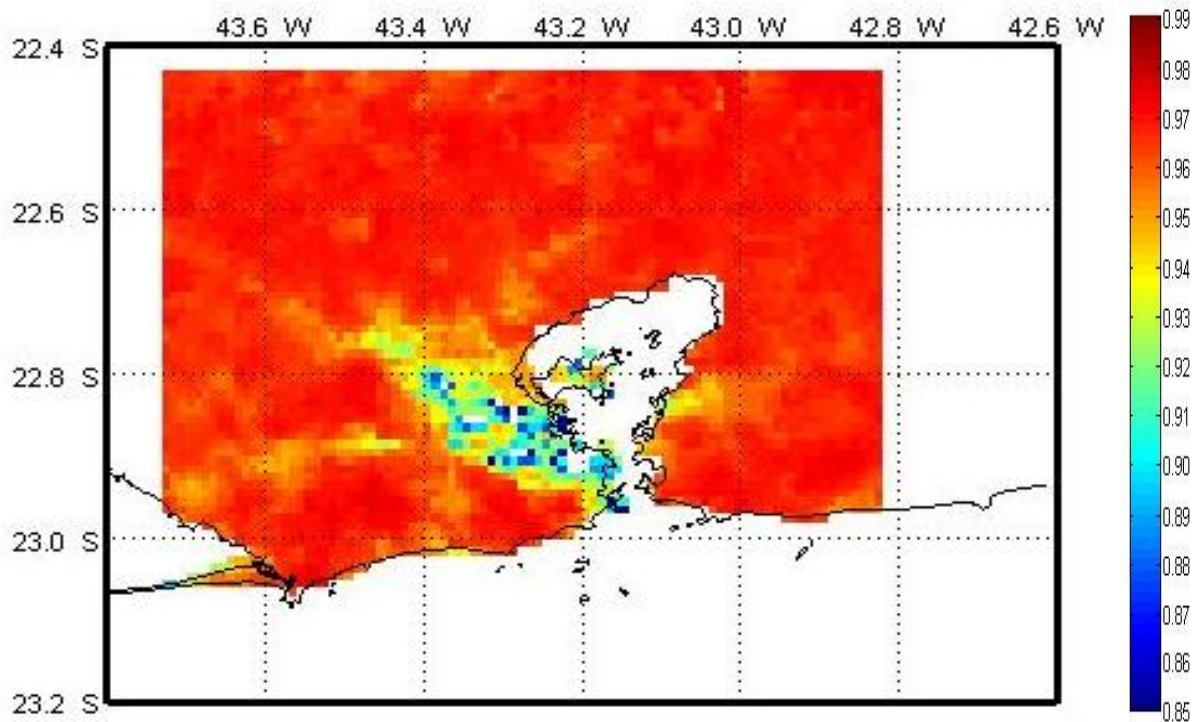


Figura 5.2.3: Emissividade do canal 4 em Abril/2006 (NOAA – 14).

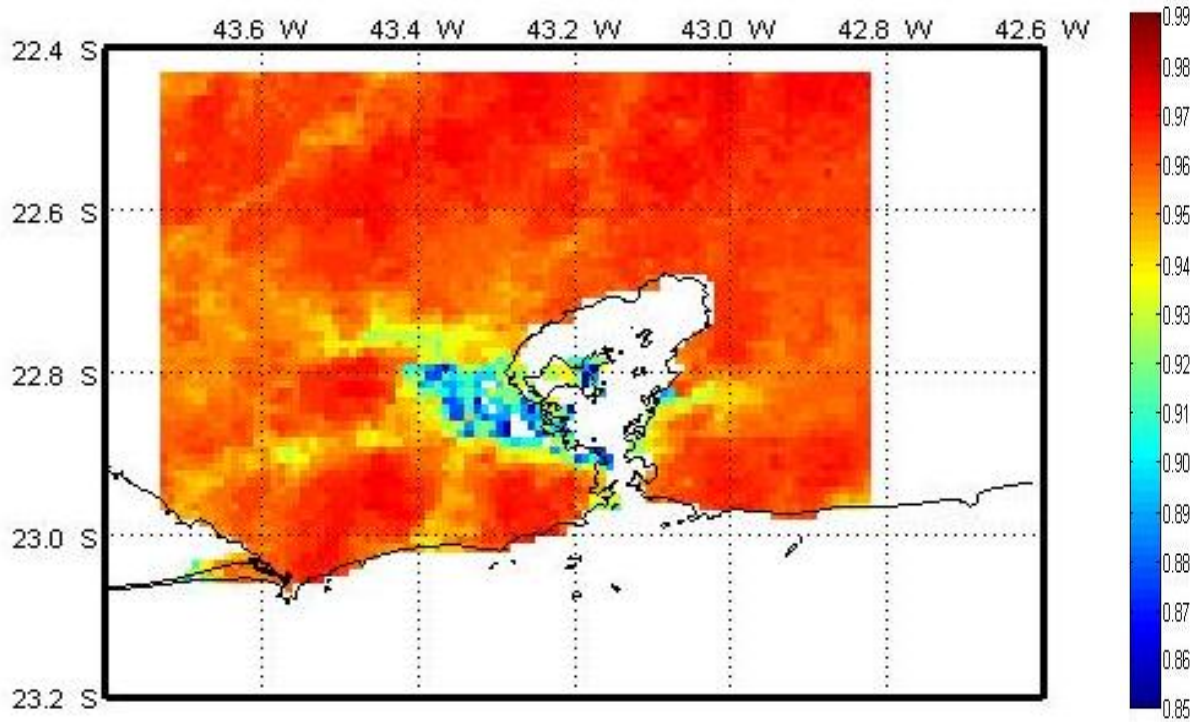


Figura 5.2.4: Emissividade do canal 4 em Julho/2006 (NOAA – 14).

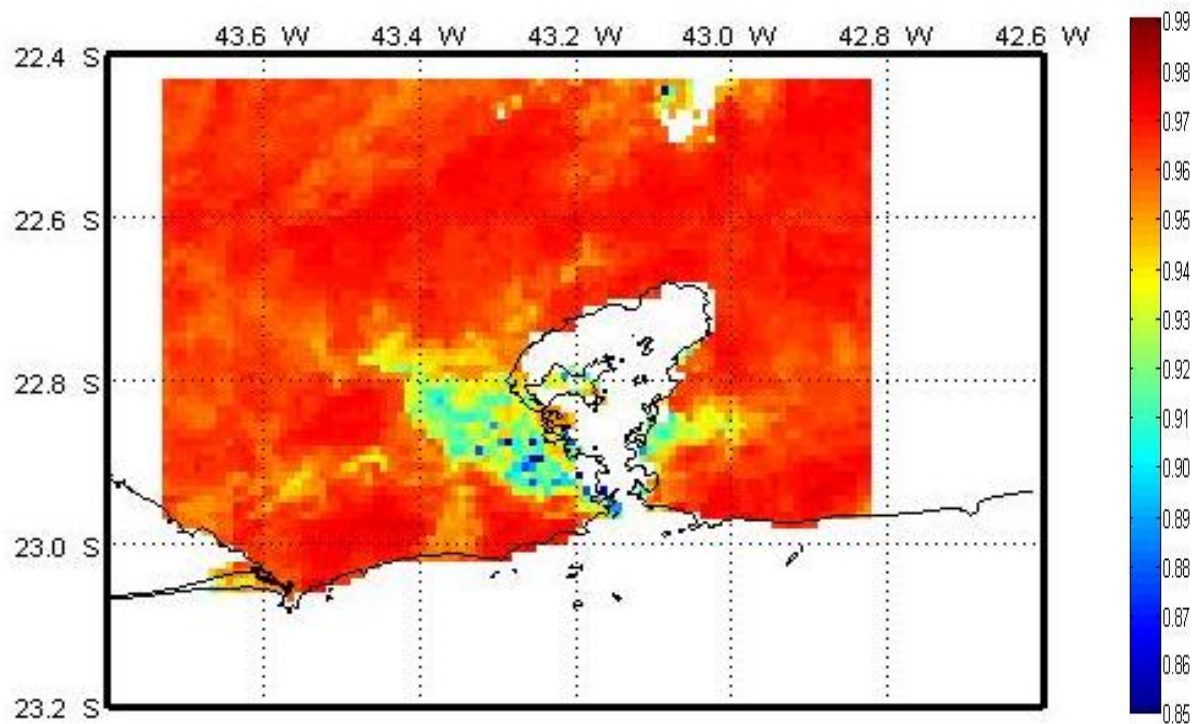


Figura 5.2.5: Emissividade do canal 4 em Outubro/2006 (NOAA – 14).

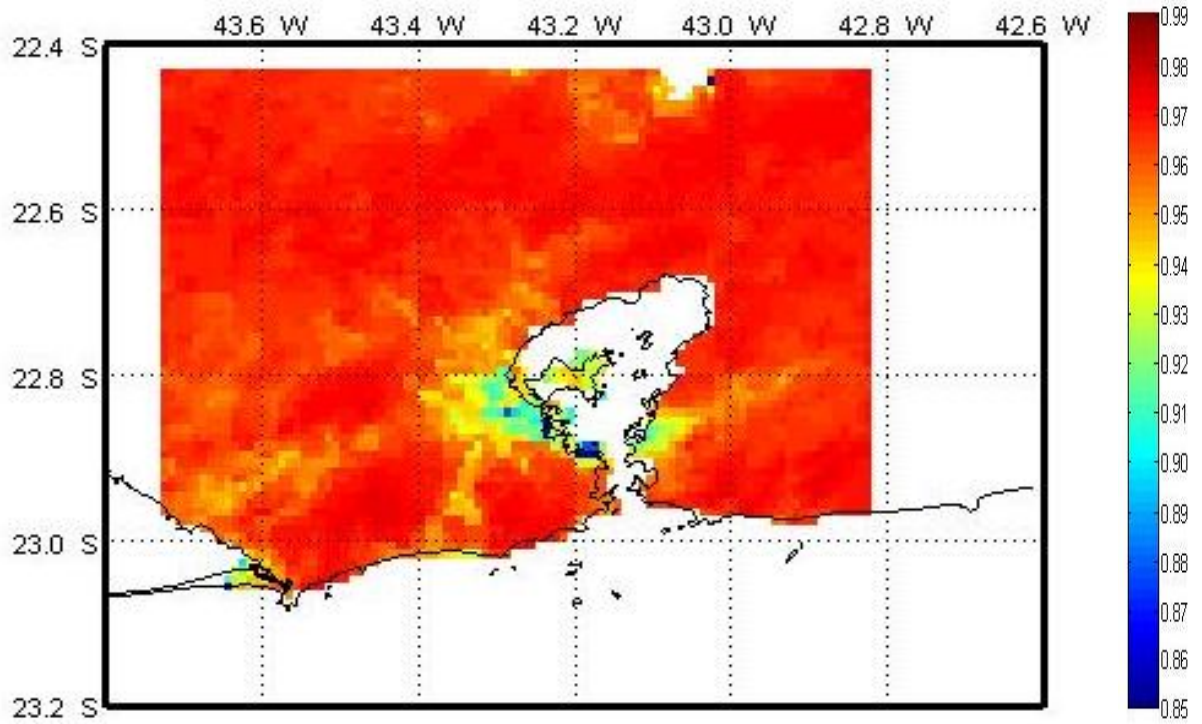


Figura 5.2.6: Emissividade do canal 4 em Dezembro/2006 (NOAA – 14).

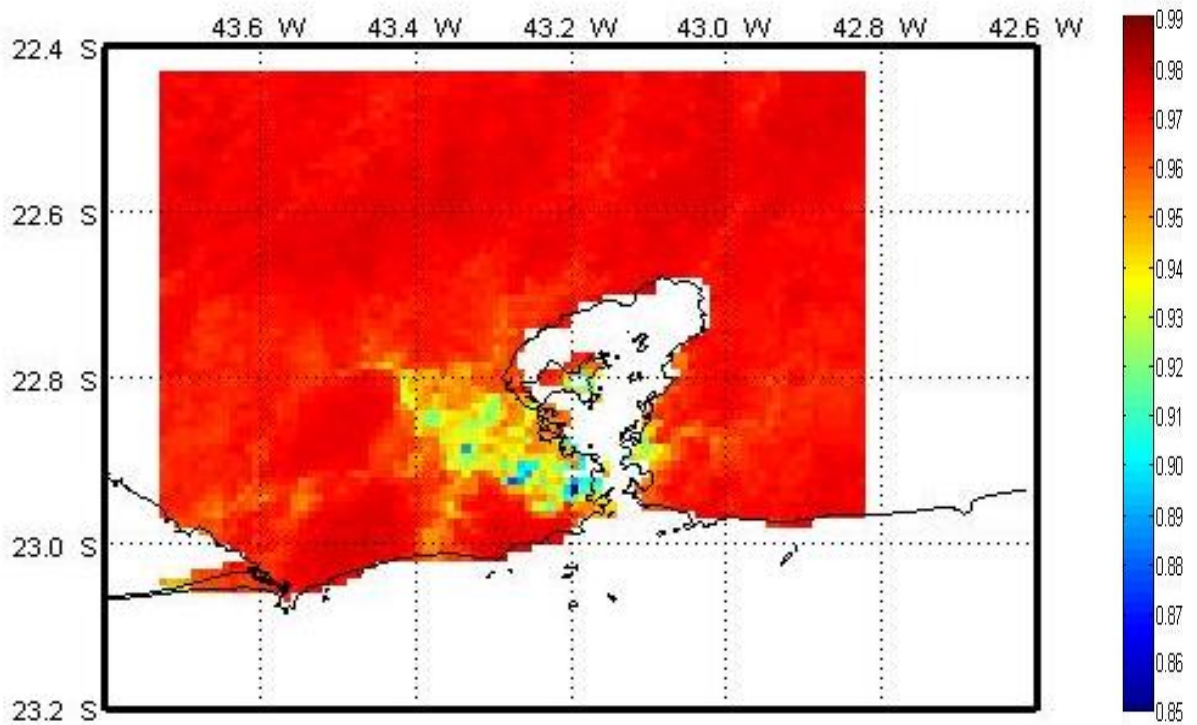


Figura 5.2.7: Emissividade do canal 4 em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).

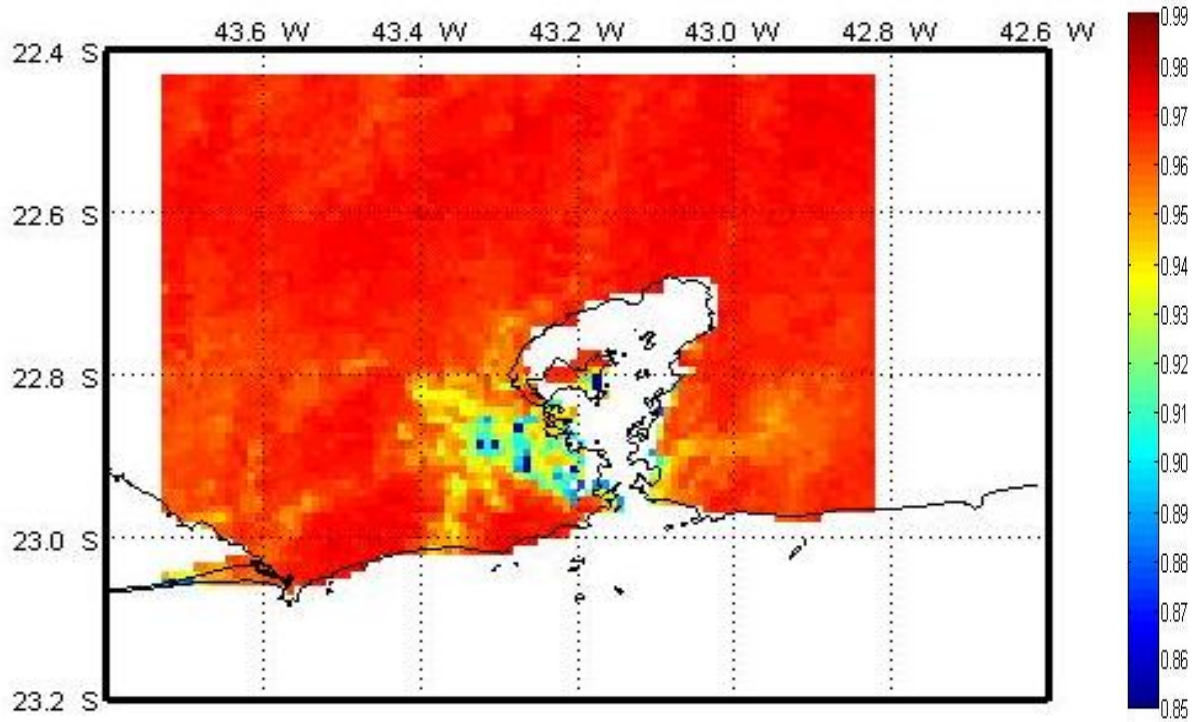


Figura 5.2.8: Emissividade do canal 4 em Maio/2007 (NOAA – 14).

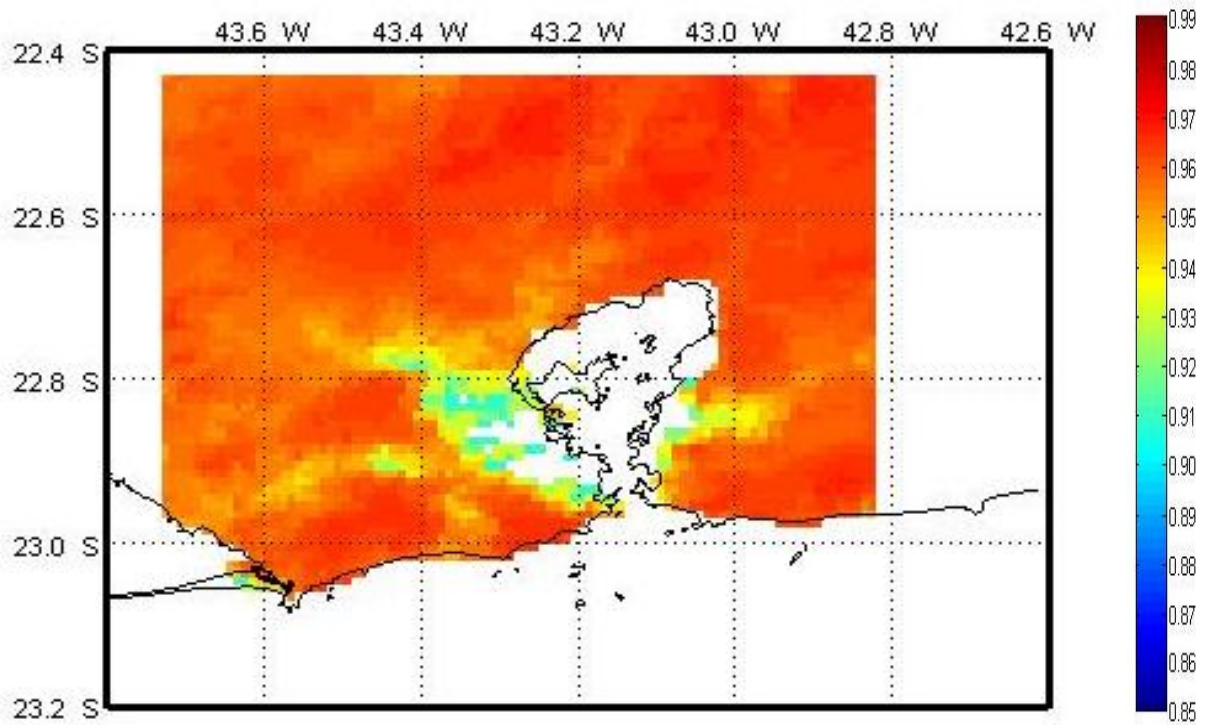


Figura 5.2.9: Emissividade do canal 5 em Outubro/2005 (NOAA – 14).

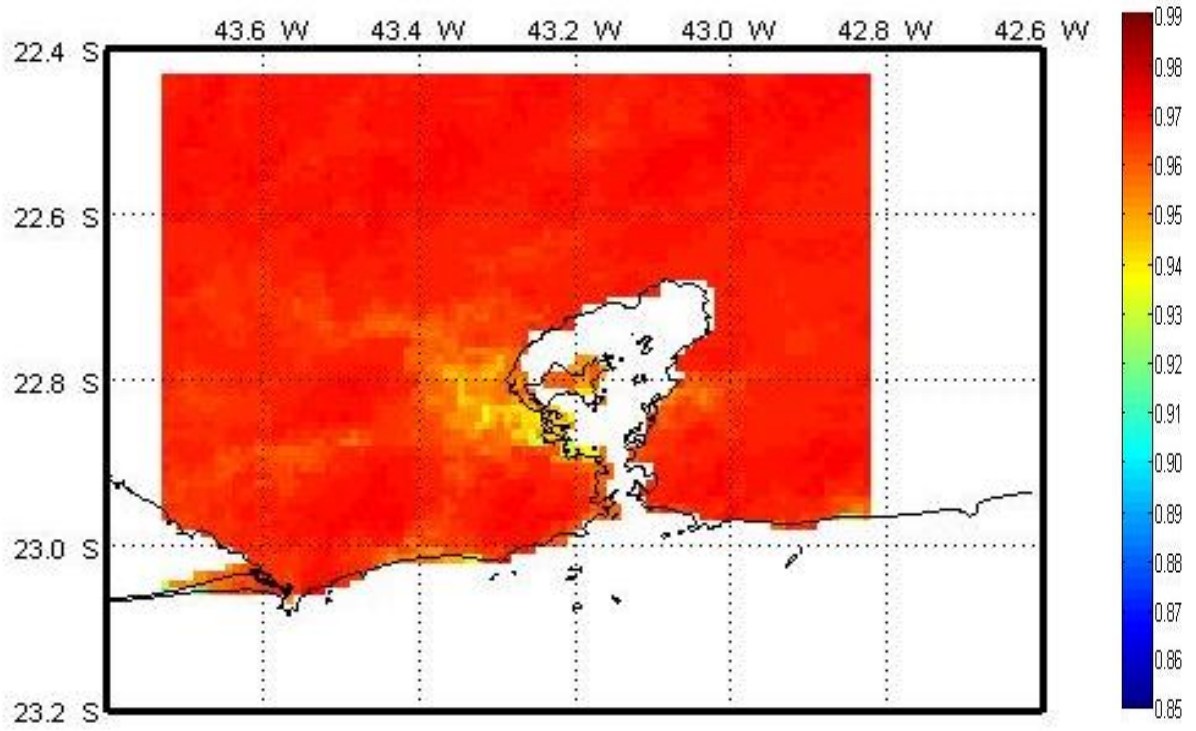


Figura 5.2.10: Emissividade do canal 5 em Janeiro/2006 (NOAA – 14).

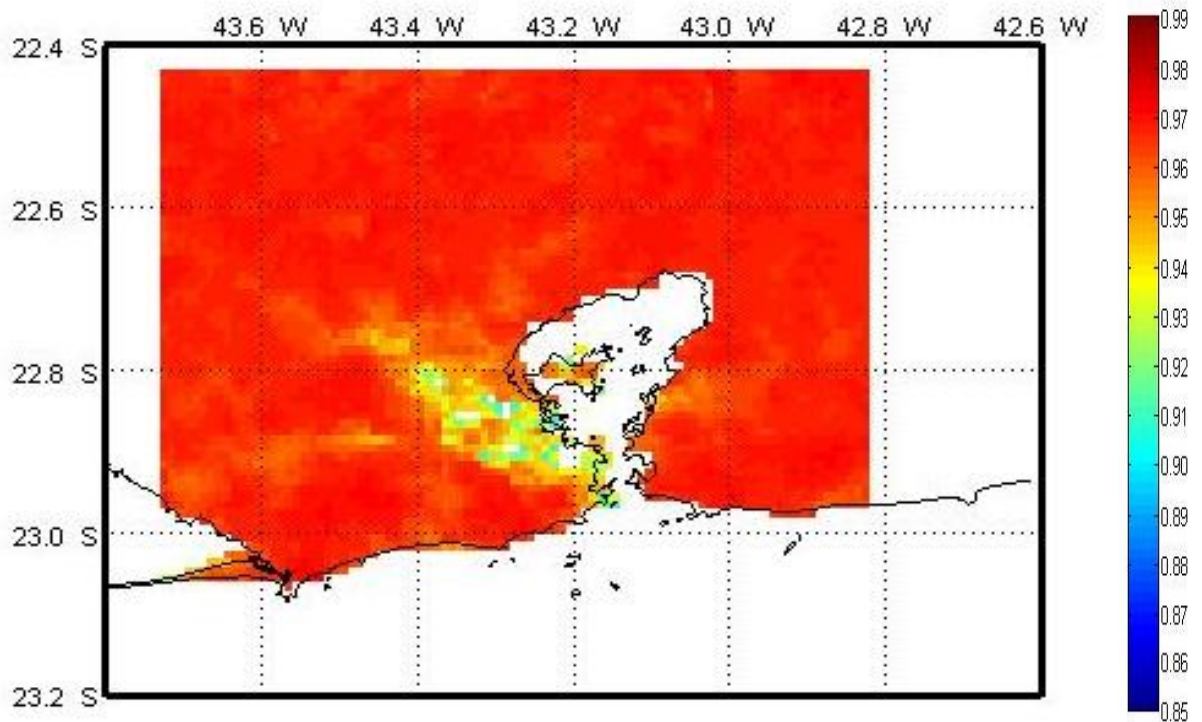


Figura 5.2.11: Emissividade do canal 5 em Abril/2006 (NOAA – 14).

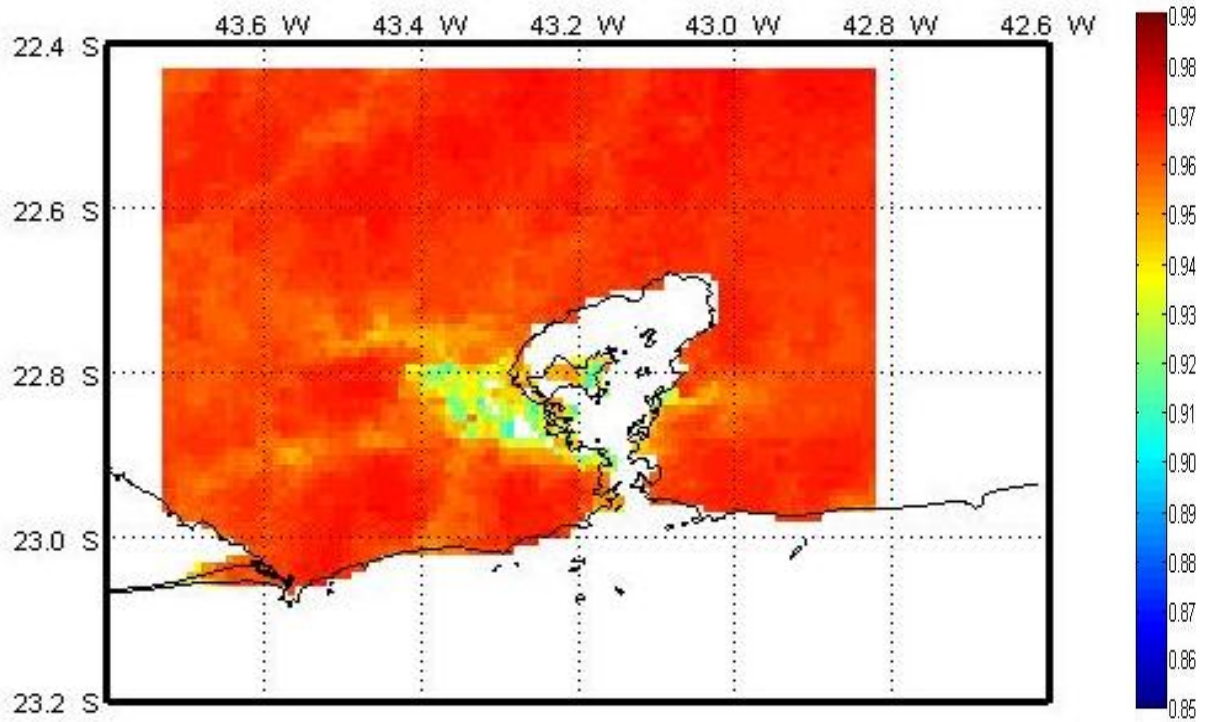


Figura 5.2.12: Emissividade do canal 5 em Julho/2006 (NOAA – 14).

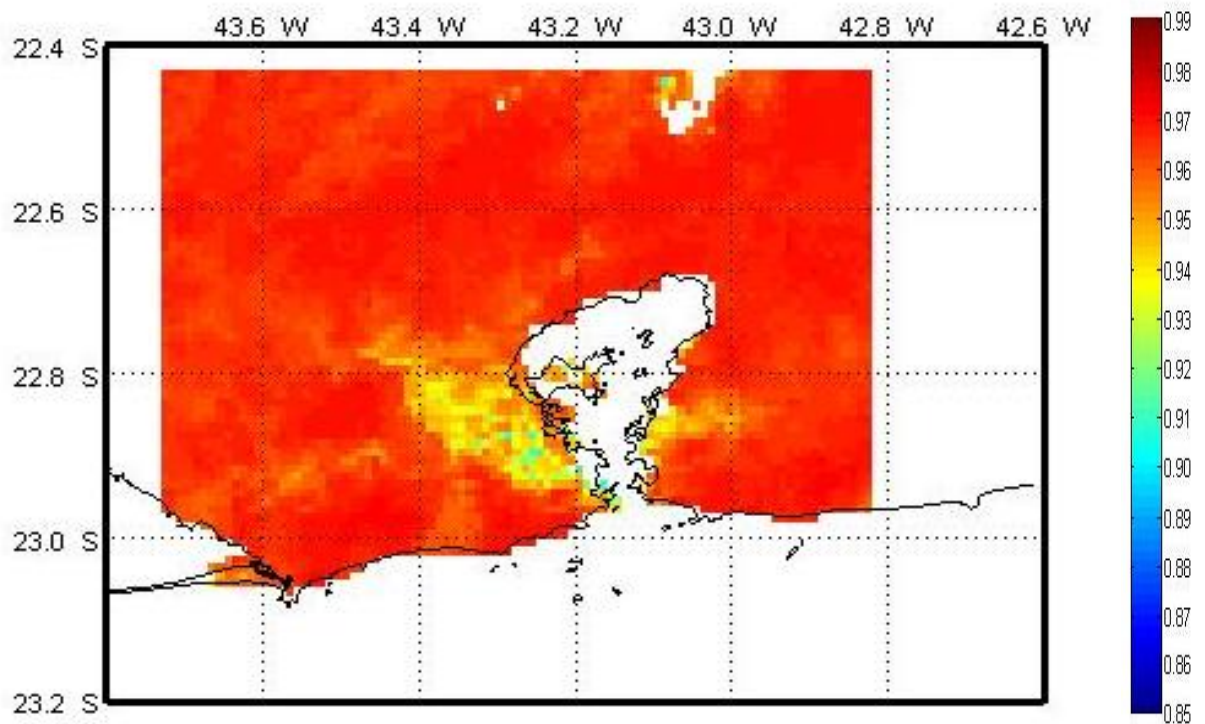


Figura 5.2.13: Emissividade do canal 5 em Outubro/2006 (NOAA – 14).

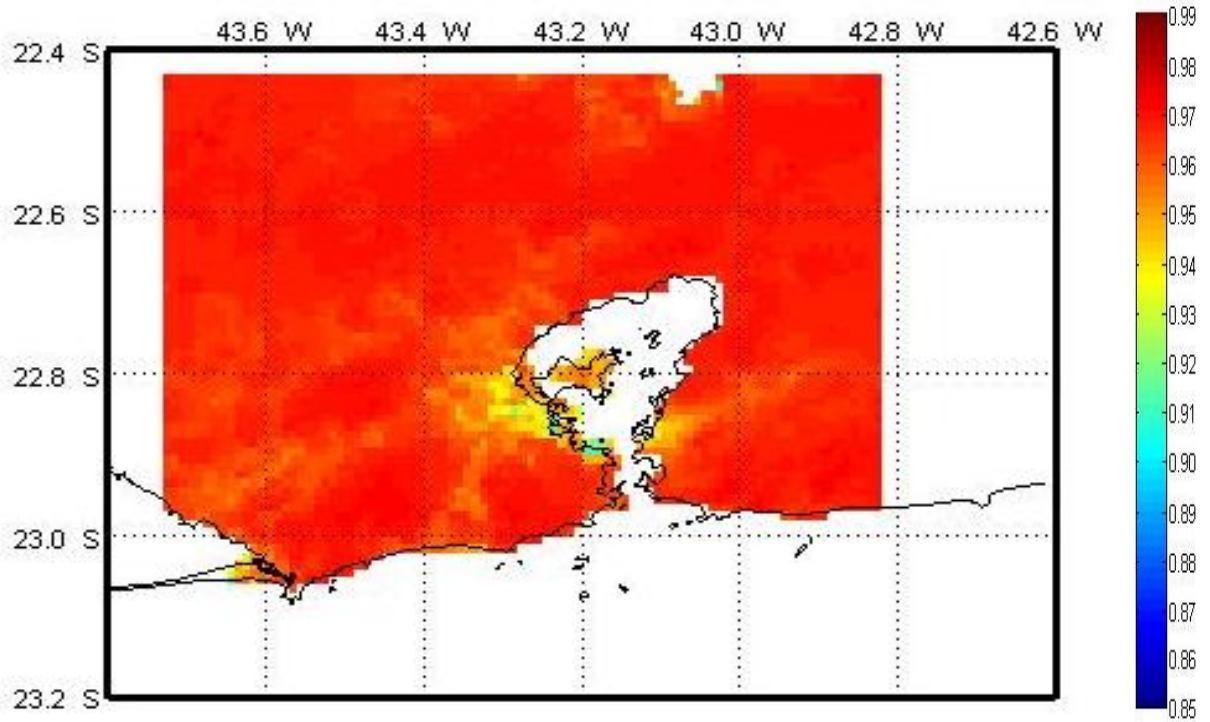


Figura 5.2.14: Emissividade do canal 5 em Dezembro/2006 (NOAA – 14).

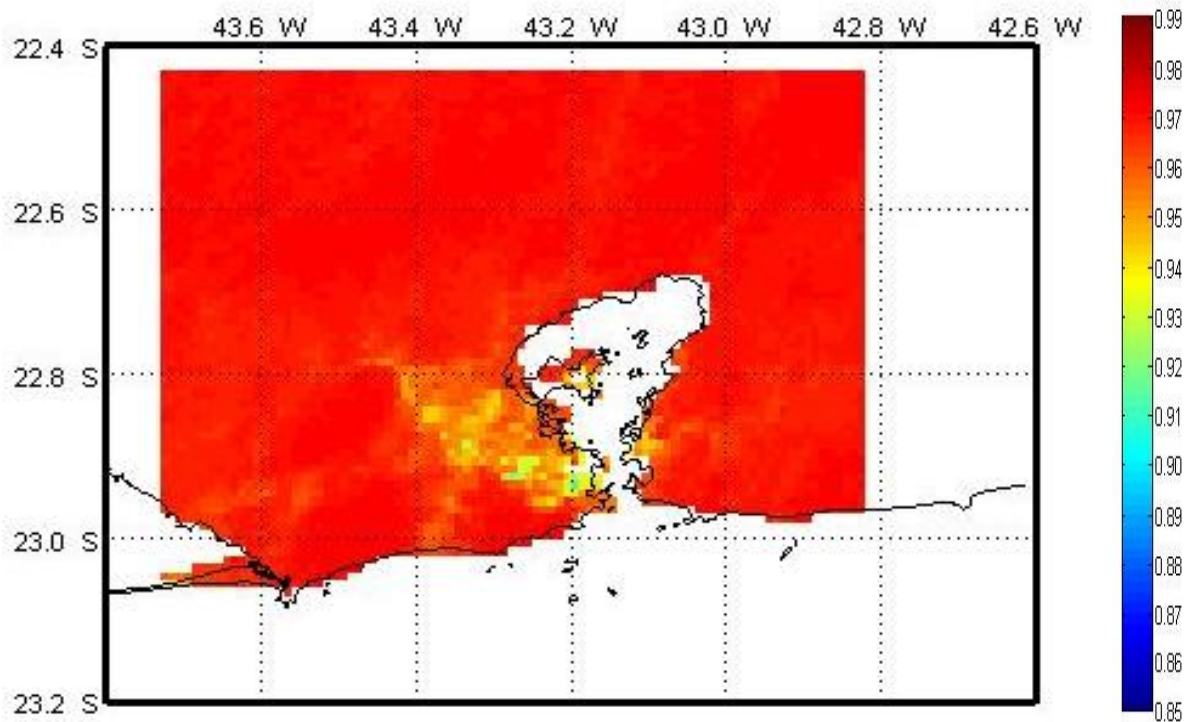


Figura 5.2.15: Emissividade do canal 5 em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).

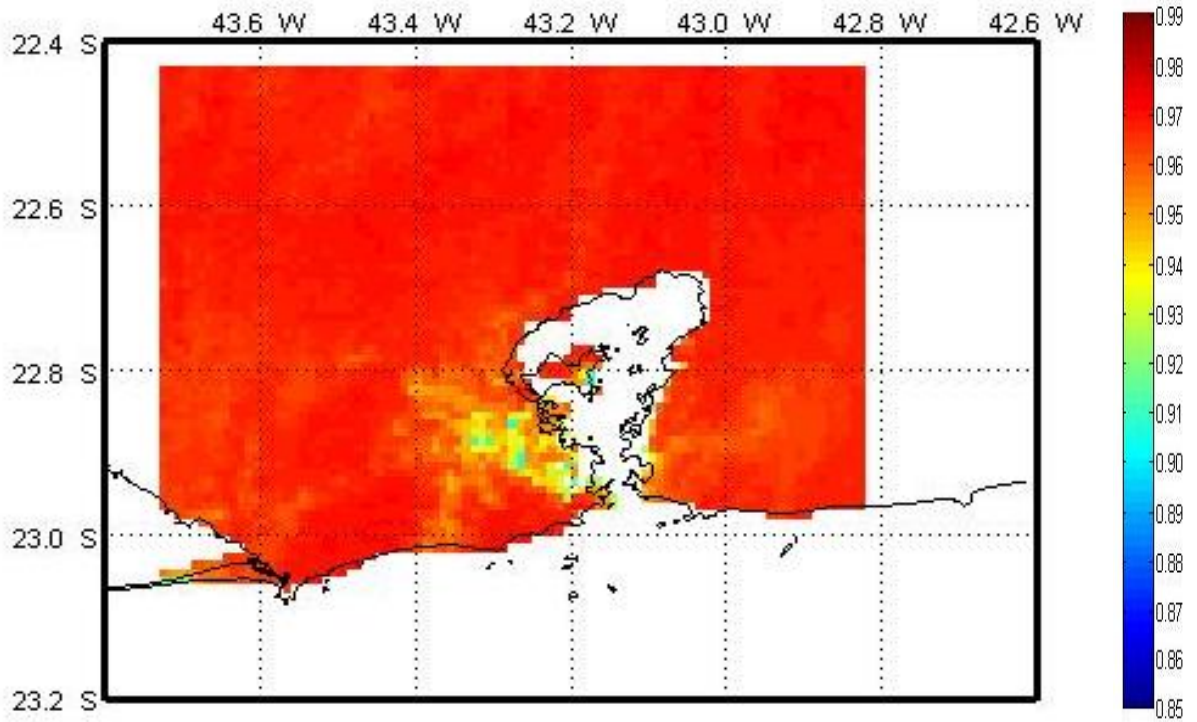


Figura 5.2.16: Emissividade do canal 5 em Maio/2007 (NOAA – 14).

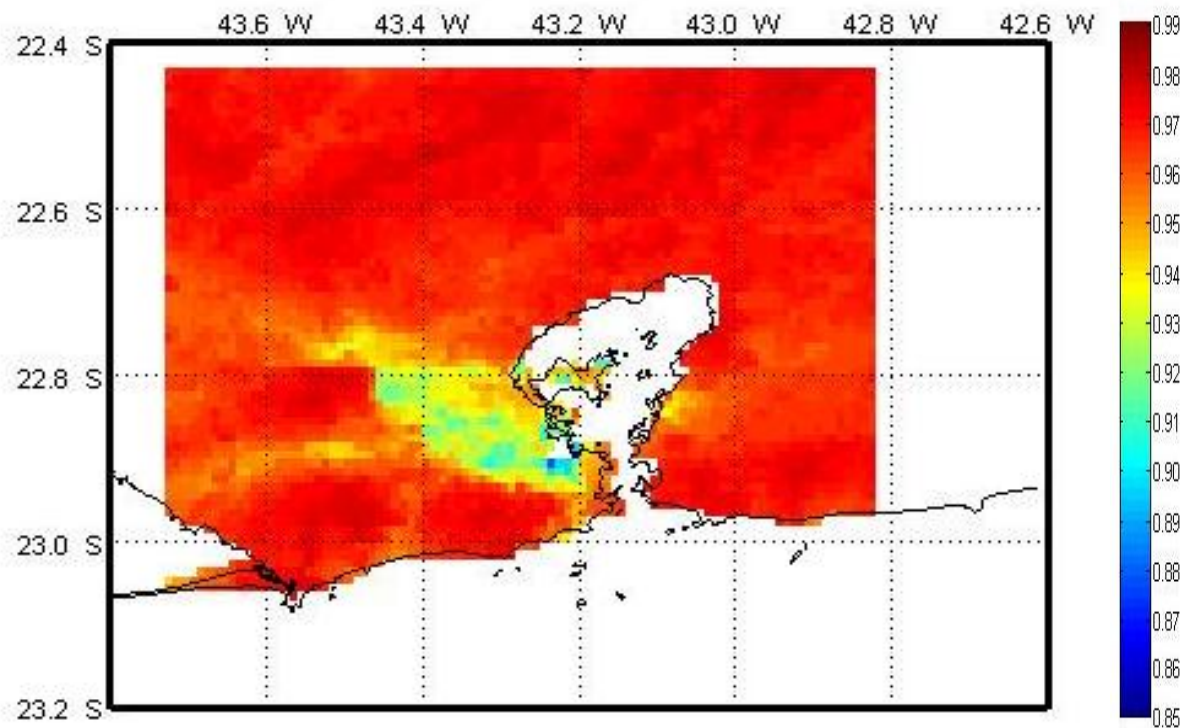


Figura 5.2.17: Emissividade do canal 4 em Agosto/2008 (NOAA – 18).

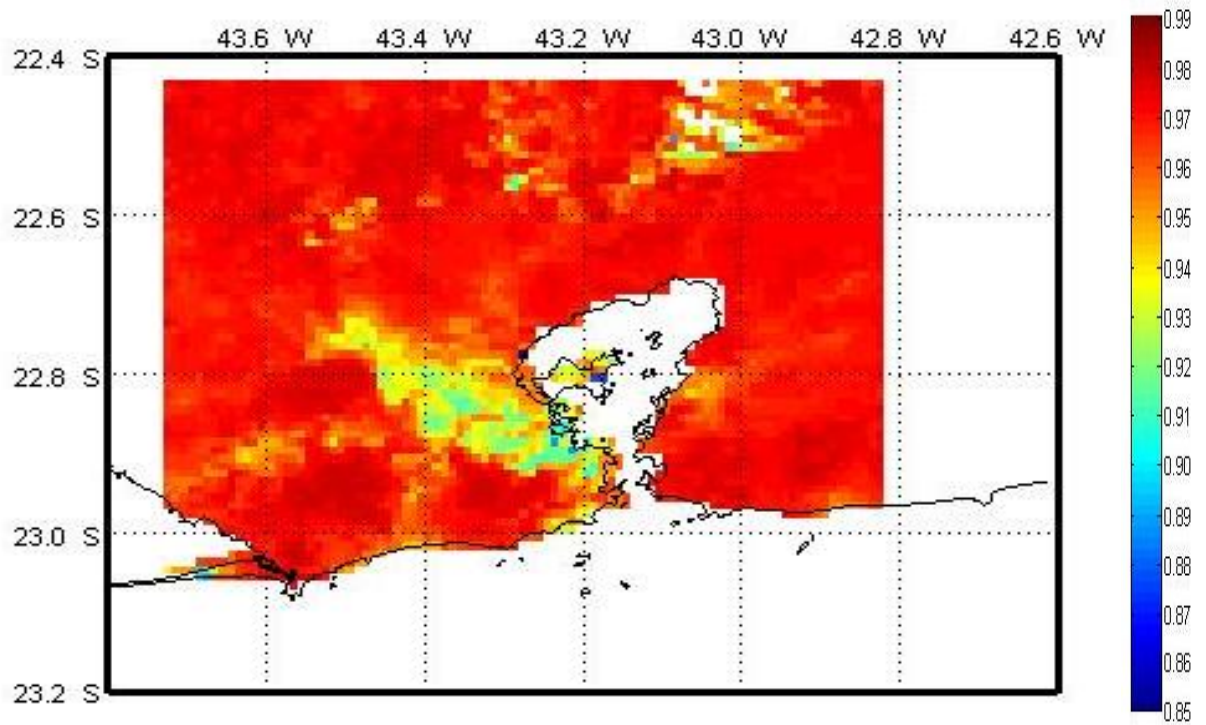


Figura 5.2.18: Emissividade do canal 4 em Dezembro/2008 (NOAA – 18).

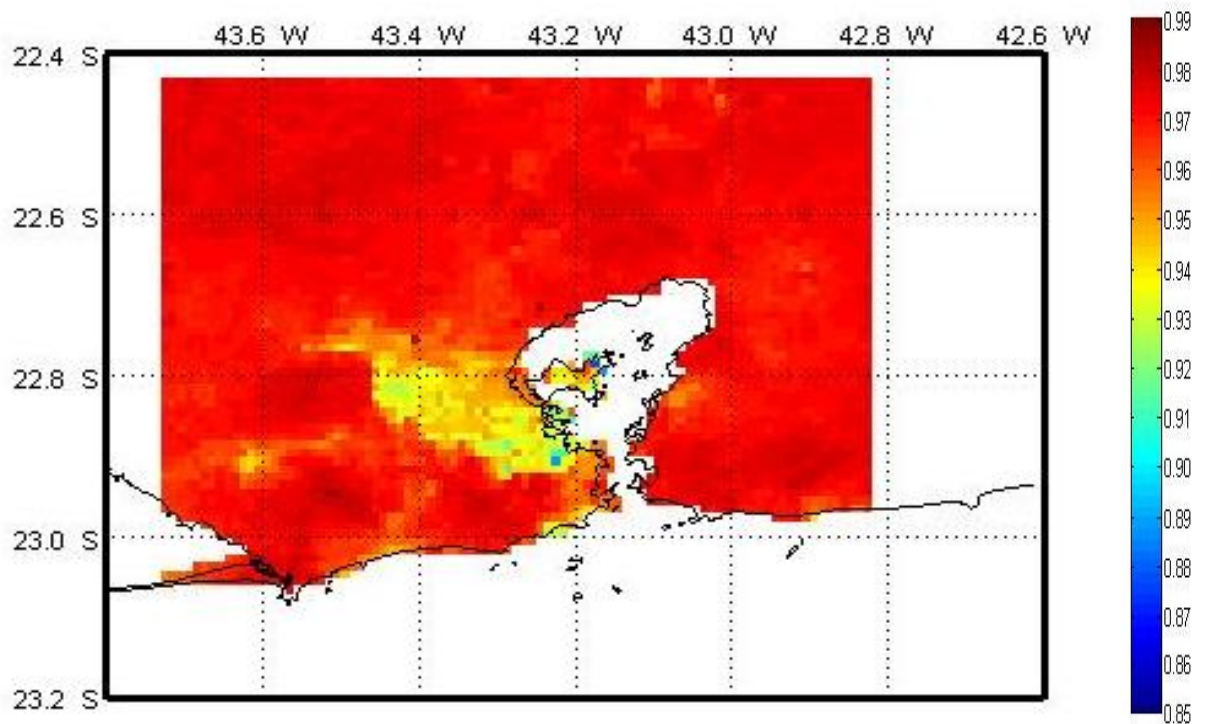


Figura 5.2.19: Emissividade do canal 4 em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).

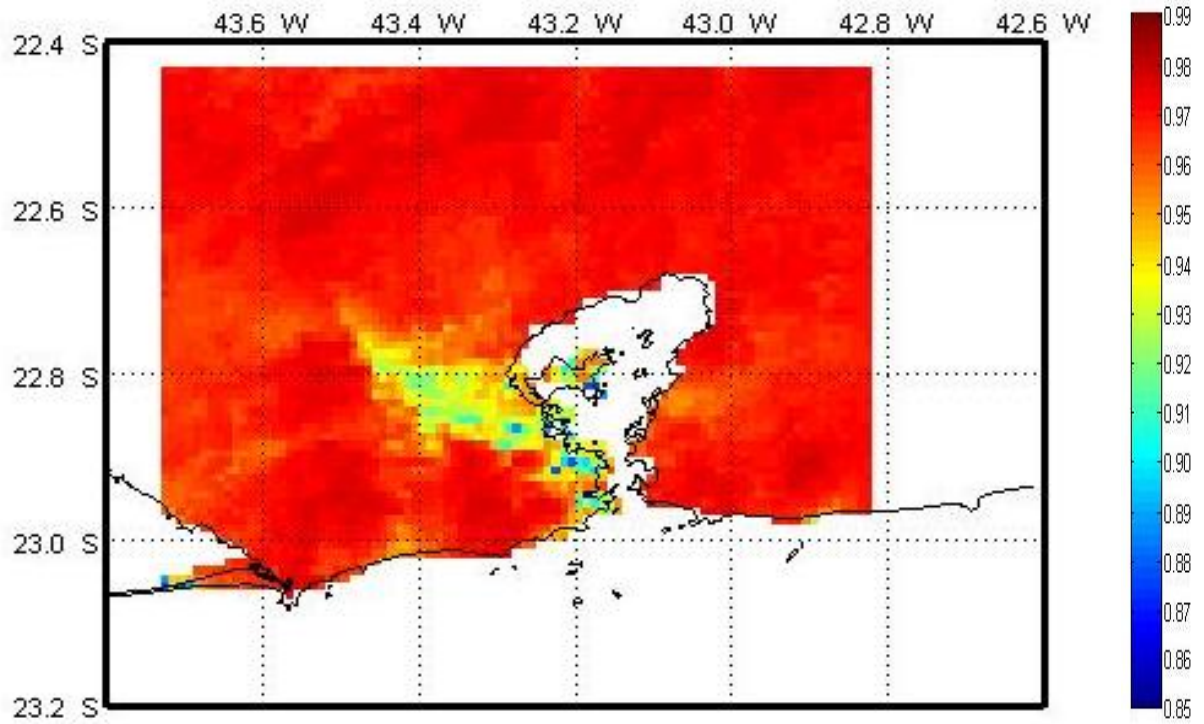


Figura 5.2.20: Emissividade do canal 4 em Agosto/2009 (NOAA – 18).

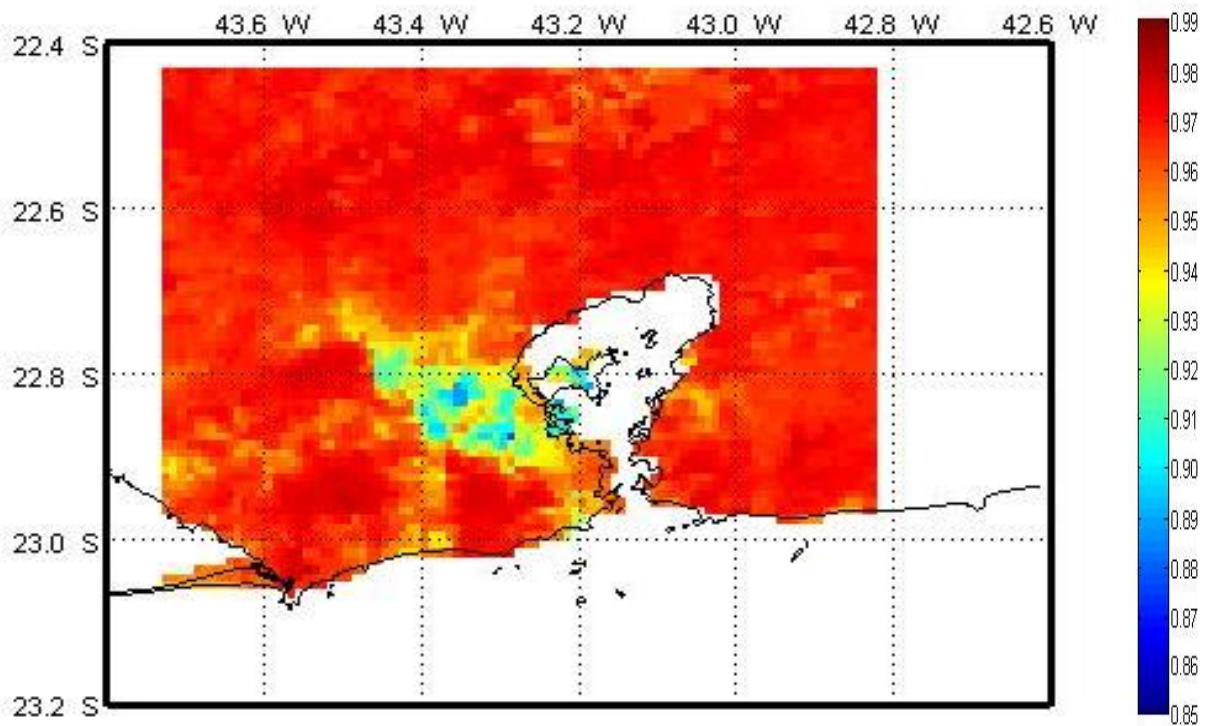


Figura 5.2.21: Emissividade do canal 4 em Outubro/2009 (NOAA – 18).

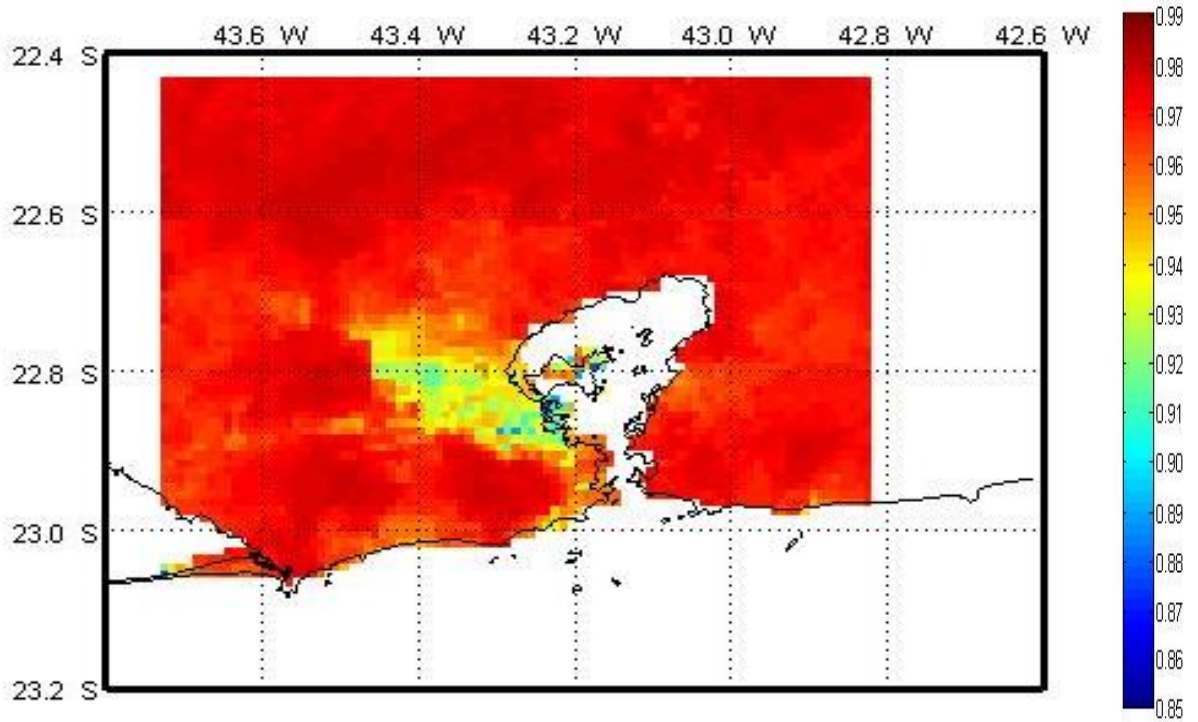


Figura 5.2.22: Emissividade do canal 4 em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).

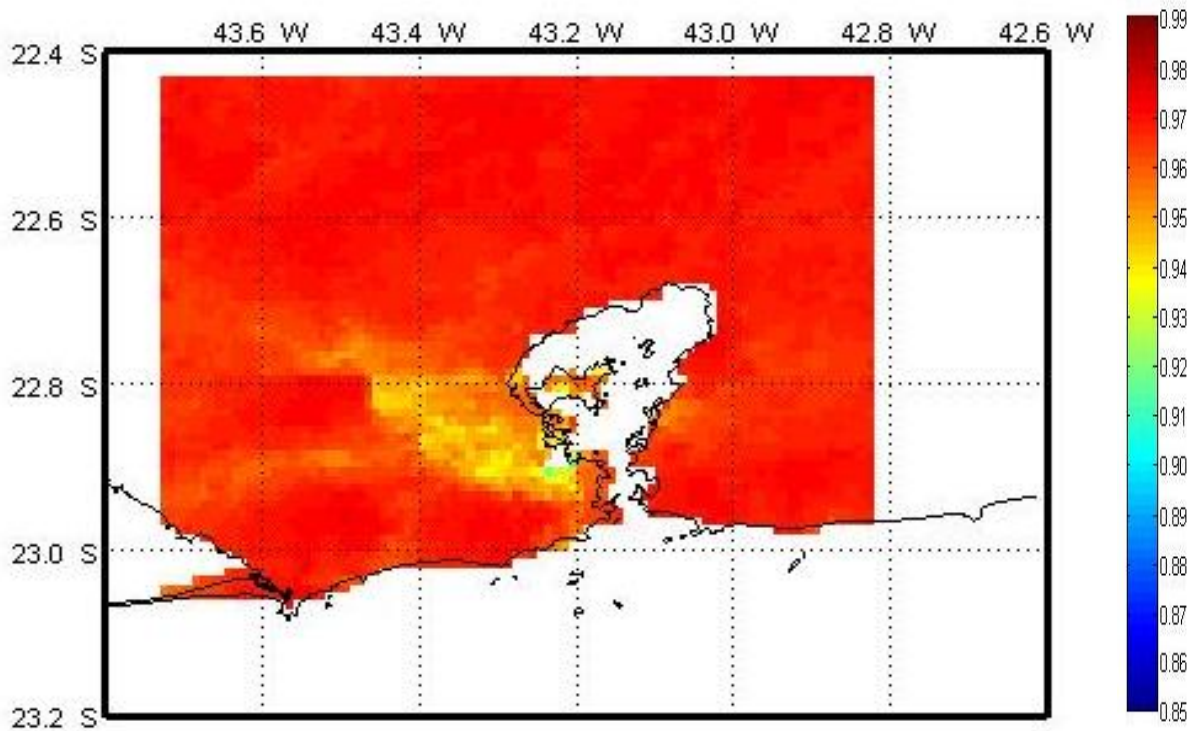


Figura 5.2.23: Emissividade do canal 5 em Agosto/2008 (NOAA – 18).

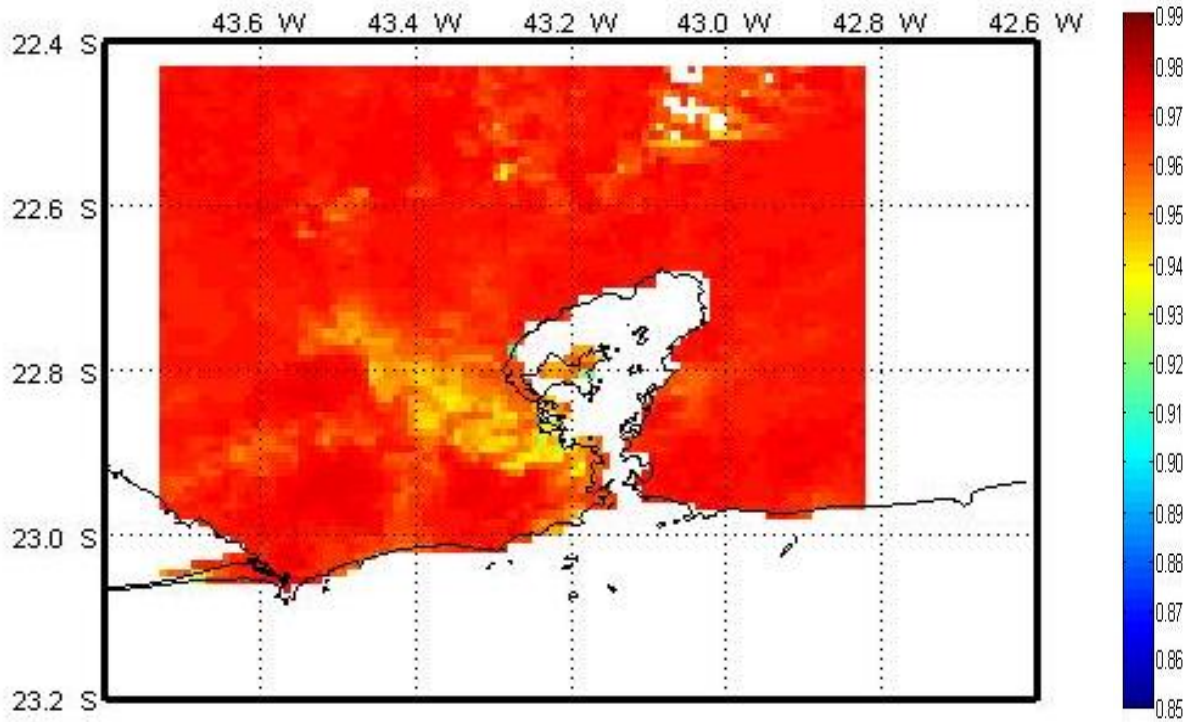


Figura 5.2.24: Emissividade do canal 5 em Dezembro/2008 (NOAA – 18).

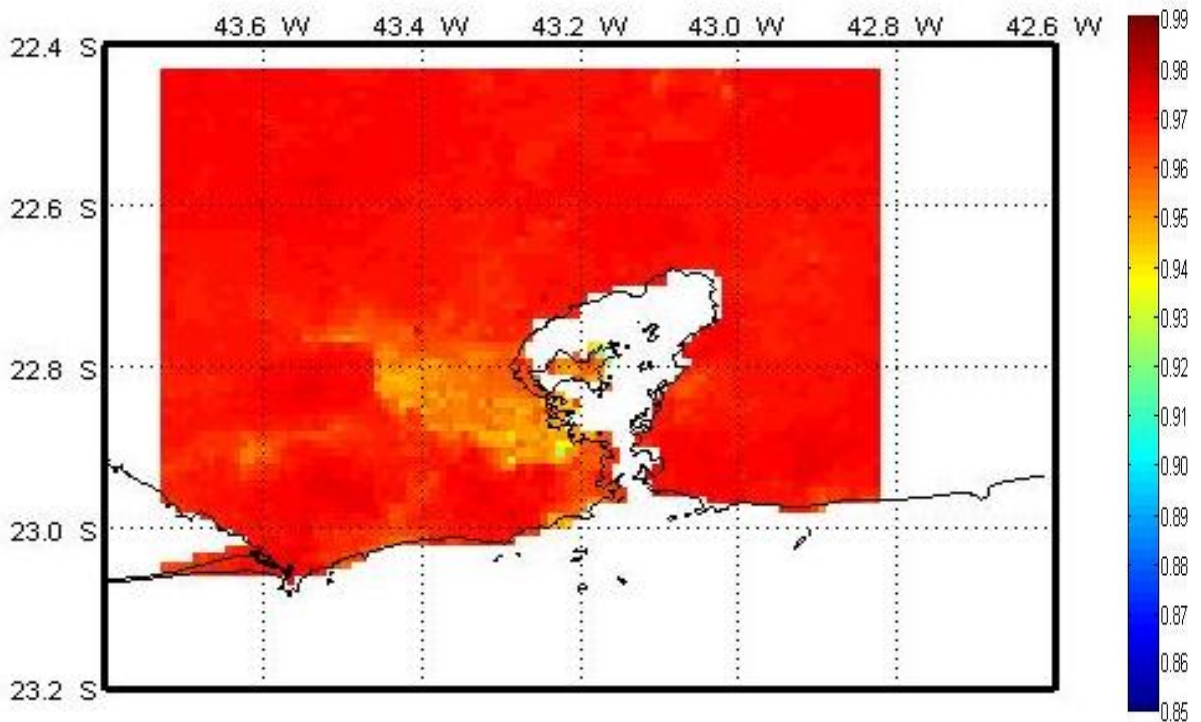


Figura 5.2.25: Emissividade do canal 5 em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).

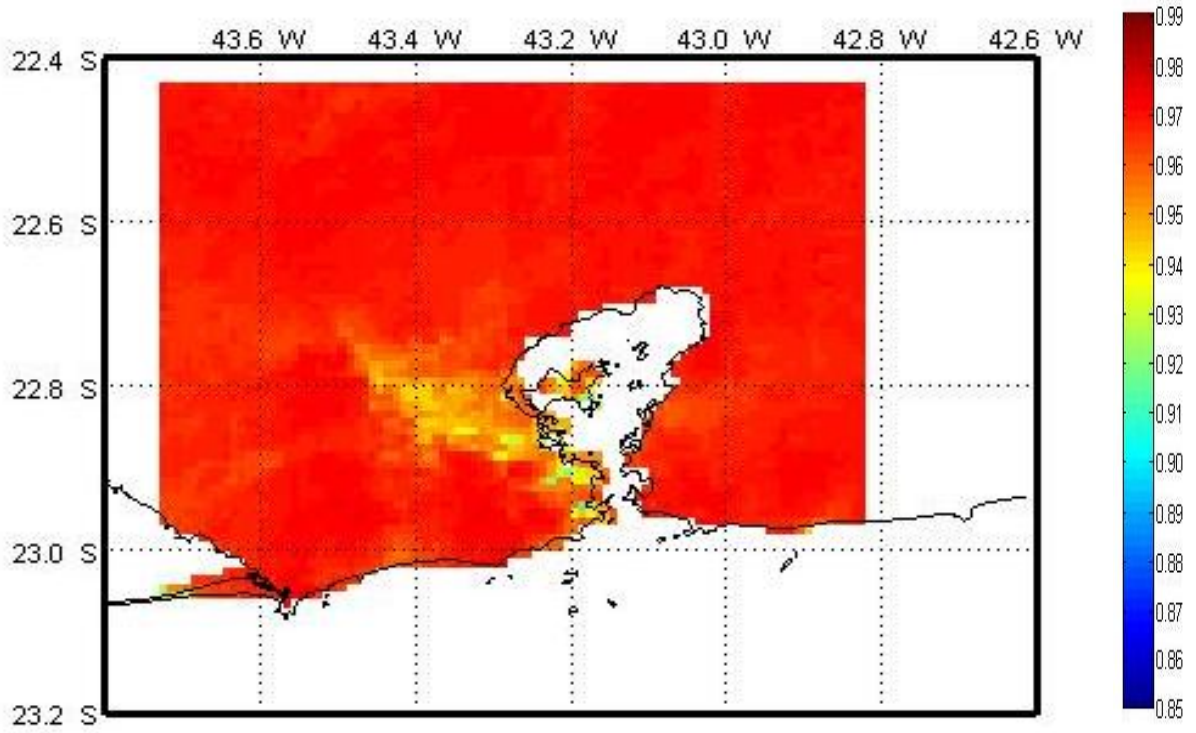


Figura 5.2.26: Emissividade do canal 5 em Agosto/2009 (NOAA – 18).

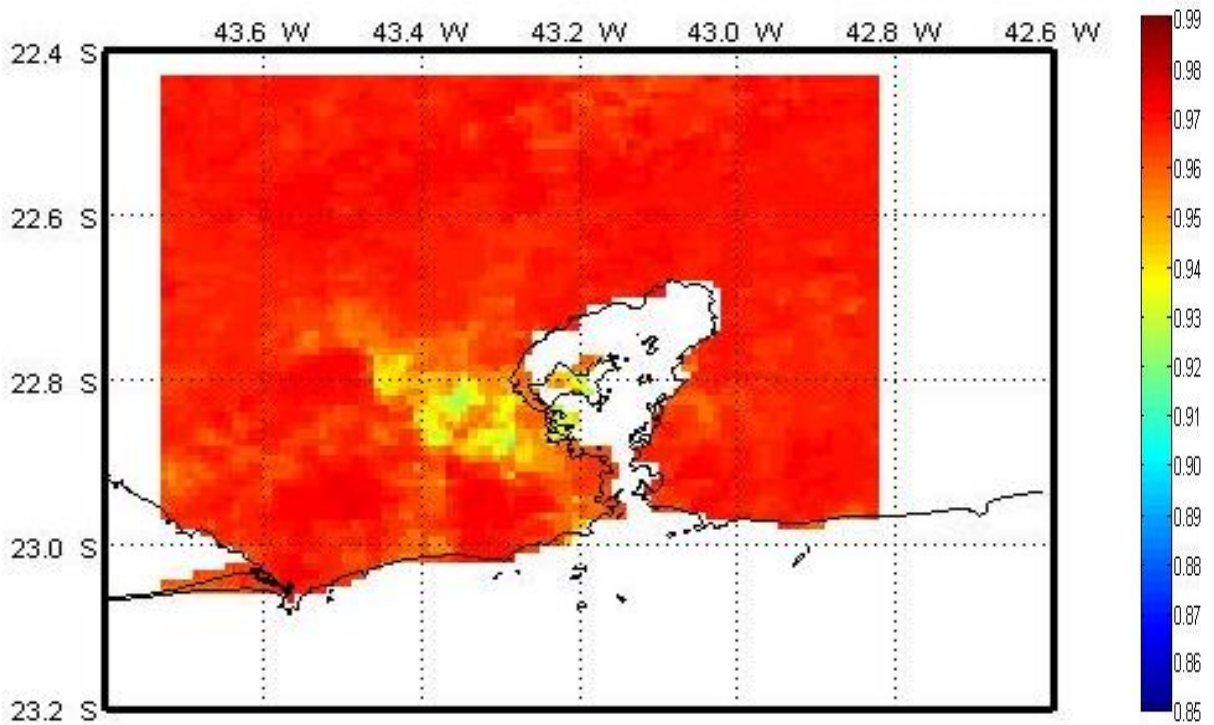


Figura 5.2.27: Emissividade do canal 5 em Outubro/2009 (NOAA – 18).

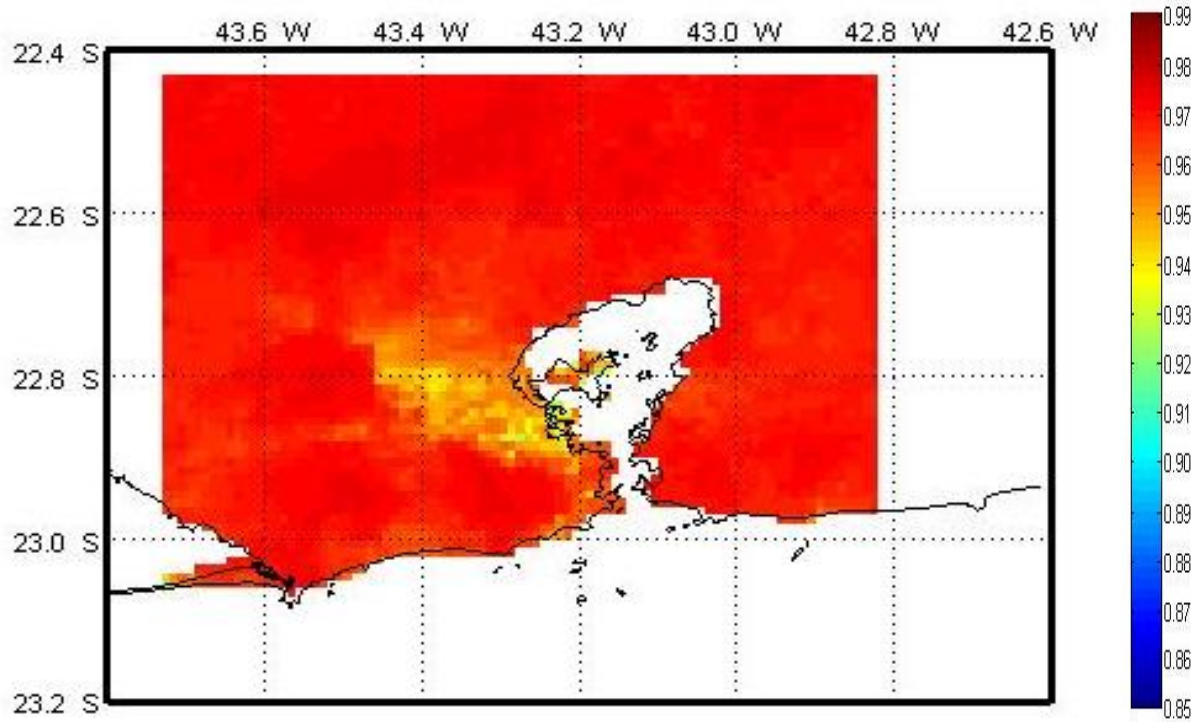


Figura 5.2.28: Emissividade do canal 5 em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).

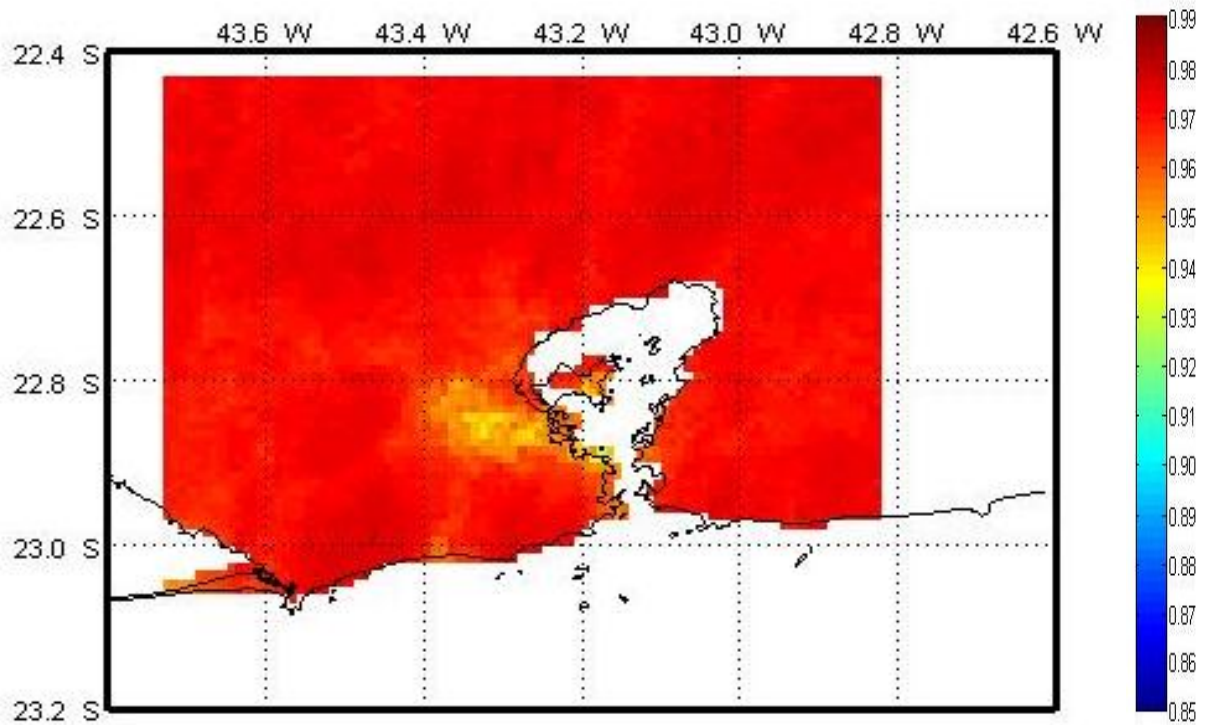


Figura 5.2.29: Emissividade do canal 4 no NOAA – 14.

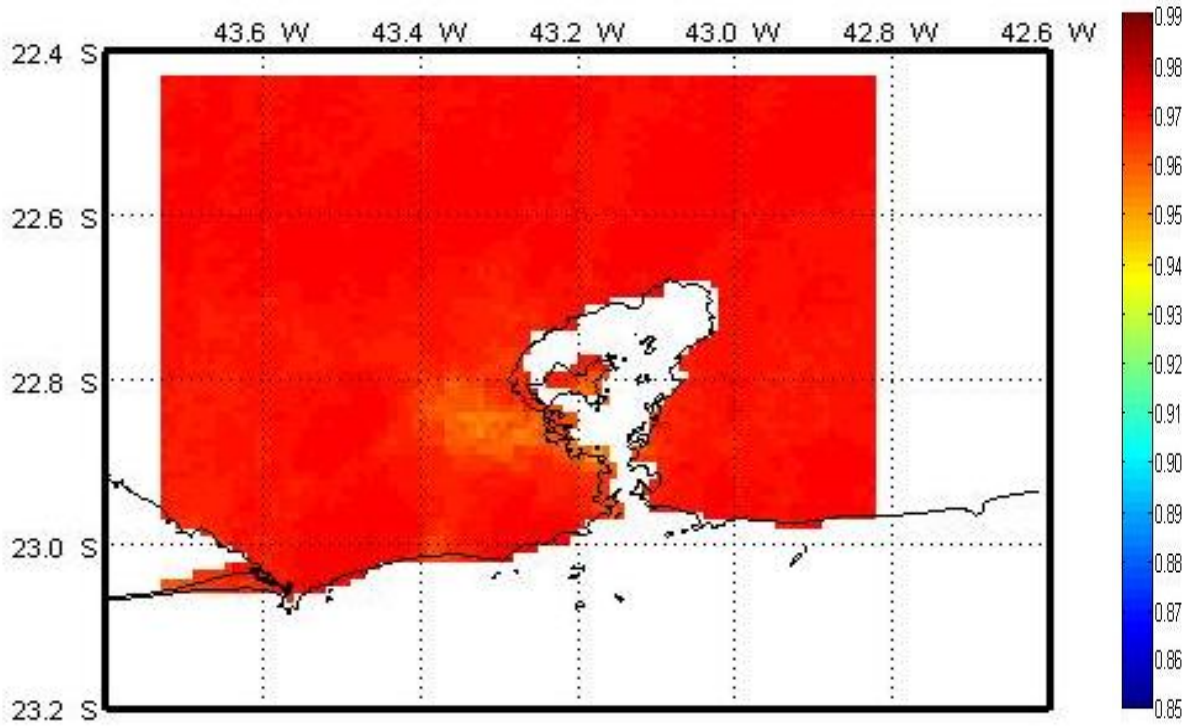


Figura 5.2.30: Emissividade do canal 5 no NOAA – 14.

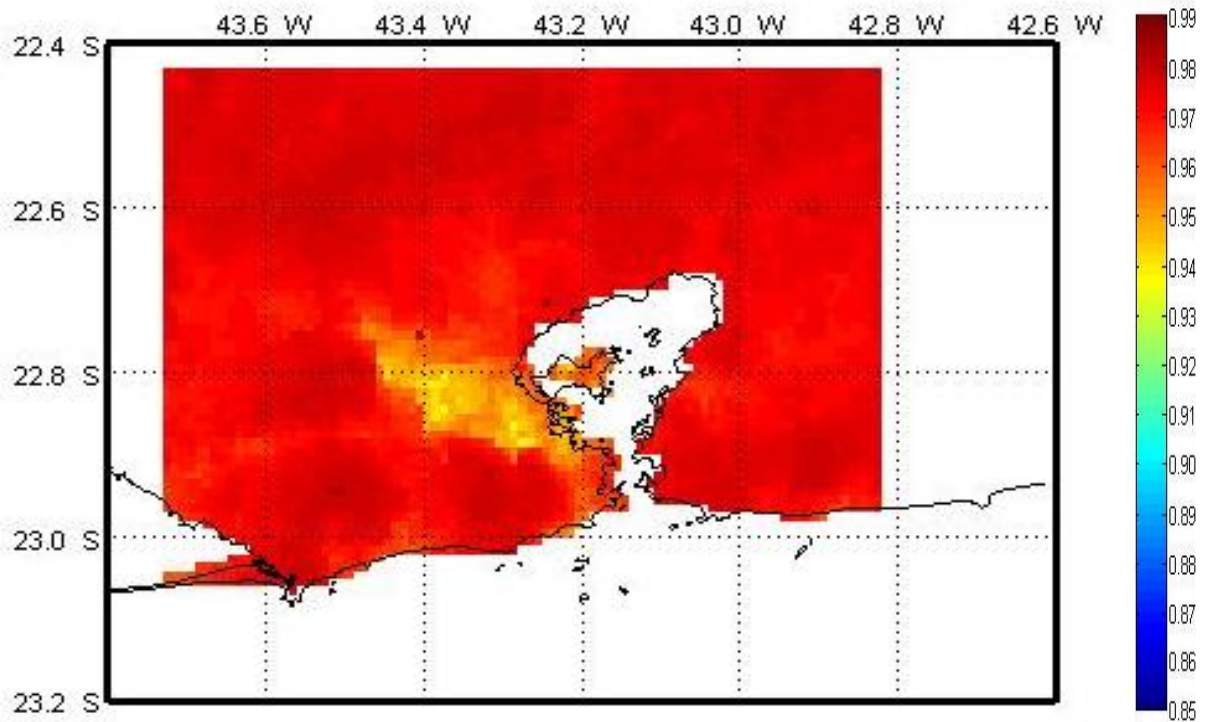


Figura 5.2.31: Emissividade do canal 4 no NOAA – 18.

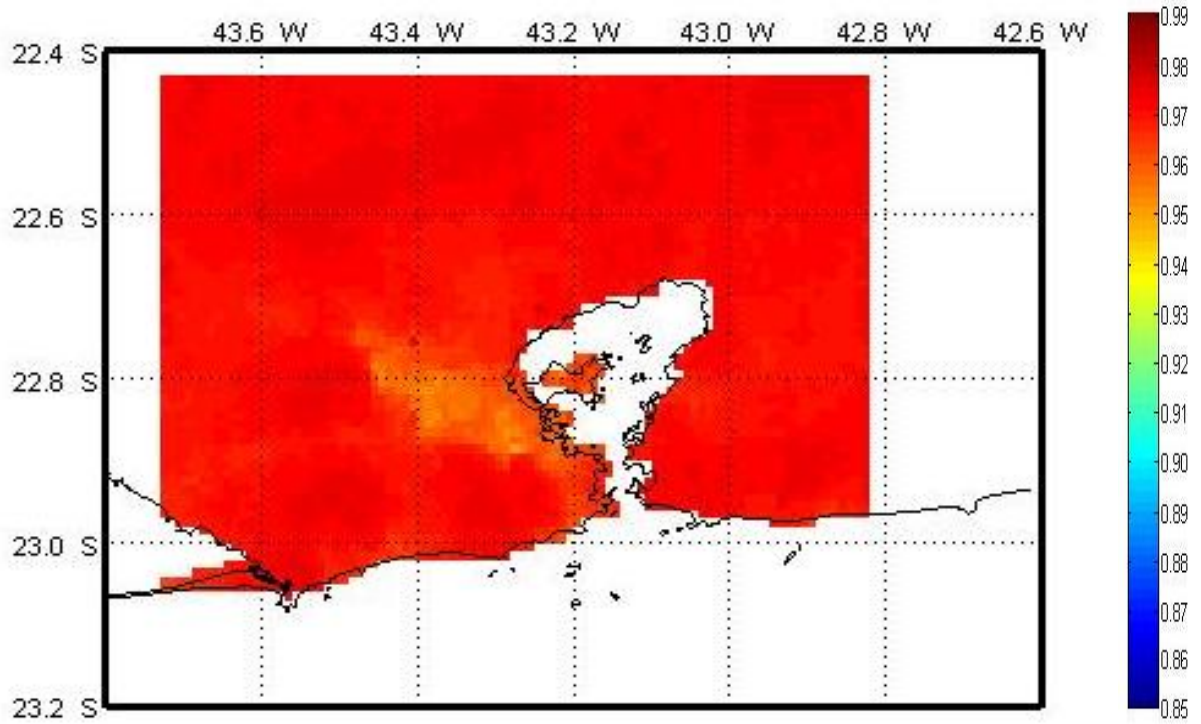


Figura 5.2.32: Emissividade do canal 5 no NOAA – 18.

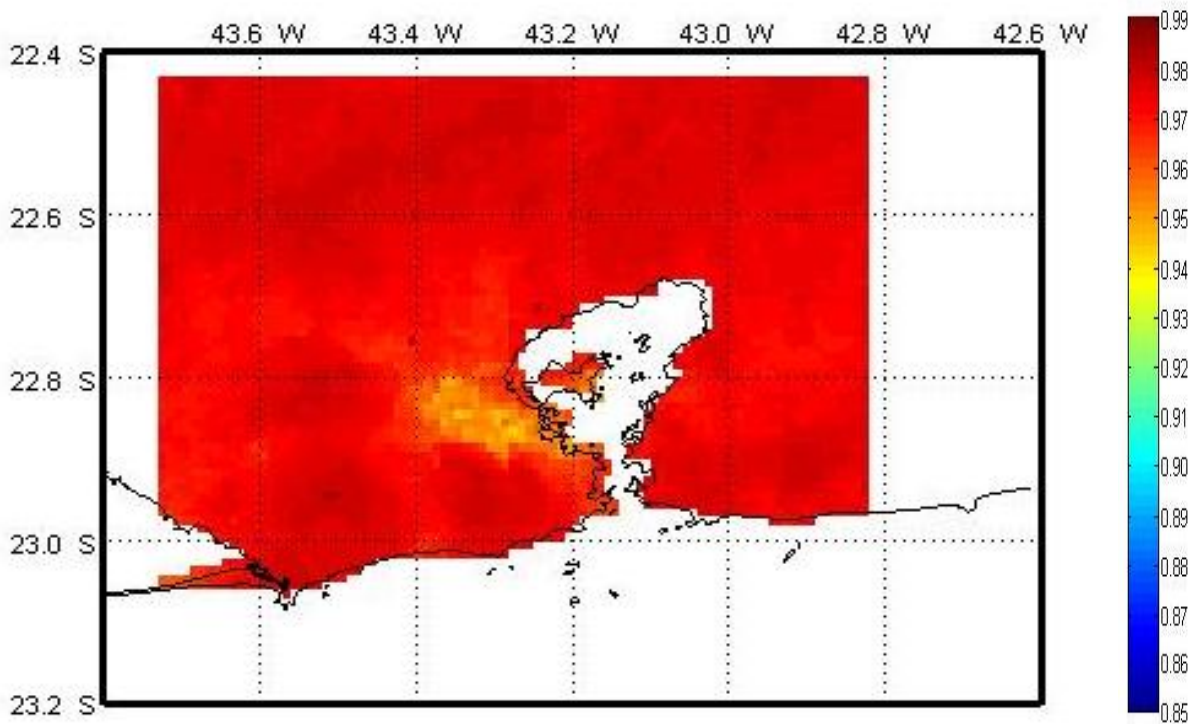


Figura 5.2.33: Emissividade do canal 4 nos dois conjuntos de dados.

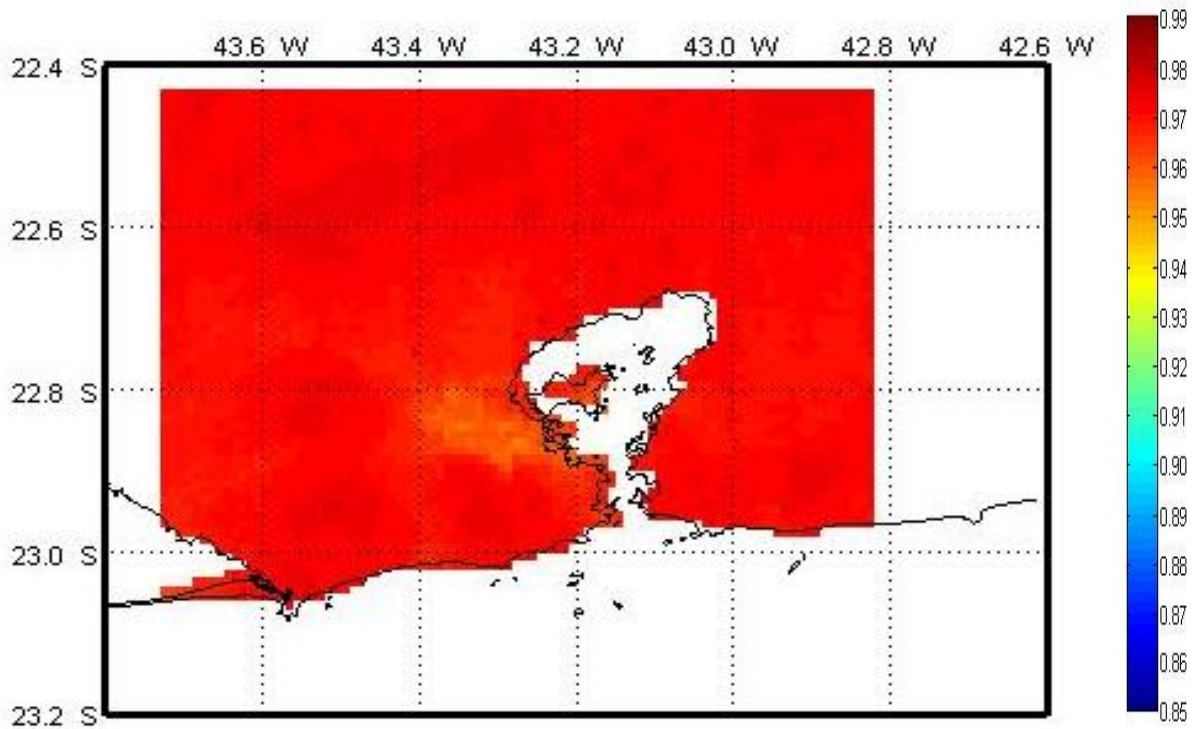


Figura 5.2.34: Emissividade do canal 5 nos dois conjuntos de dados.

5.3 – Resultados da estimativa de TS

Nesta seção são apresentados os resultados encontrados para as estimativas de TS calculadas a partir dos dados dos satélites NOAA-14 e 18. As figuras apresentadas se referem à composição dos maiores valores da estimativa da temperatura.

As figuras 5.3.1 até 5.3.8 referem-se às composições dos maiores valores TS para o satélite NOAA – 14, enquanto que as figuras 5.3.9 a 5.3.14 são relativas ao NOAA – 18 obedecendo à tabela 5.1. Já as imagens 5.3.15 e 5.3.16 são relativas às composições dos maiores valores de TS para, respectivamente, as plataformas orbitais NOAA – 14 e 18, enquanto que a 5.3.17 a composição é feita para todo o período de dados.

Nestas imagens tem-se que as tonalidades em azul representam os valores mais baixos da composição dos maiores valores estimados de TS, enquanto que as tonalidades avermelhadas são representativas dos mais elevados valores da

TS estimada. Da mesma forma que nas imagens do índice de vegetação NDVI e das emissividades, quando ocorre à contaminação de nuvens nos *pixels* estes são representados pela cor branca. Essa mesma cor é utilizada para representar o oceano e área fora da região de estudo.

A análise das figuras 5.3.1 até 5.3.14 exhibe que as áreas onde se localizam os maciços das cidades do Rio de Janeiro e Niterói e a Serra do Mar detêm os valores mais reduzidos de TS, entretanto as primeiras áreas apresentam valores ligeiramente superiores aos da segunda localidade. Naquela região as temperaturas têm valores entre 33° a 39°C (nos meses de primavera/verão) e de 27°C a, aproximadamente, 30°C (nos meses de outono/inverno), enquanto que na Serra do Mar variam de 24° a 27°C (primavera/verão) e de 18° a 24°C (outono/inverno). Estas 3 áreas são as mesmas que no índice de vegetação NDVI e nas emissividades dos canais 4 e 5 apresentavam os maiores valores. Isto indica uma localidade com superfície vegetada onde a água fica mais tempo disponível no solo e a energia é particionada entre o calor latente (utilizado para evaporar parte desta água) e o sensível (relacionado ao aquecimento da superfície). Isto contribui para os valores de TS serem menores nas áreas vegetadas.

Além disto, percebe-se a sazonalidade da TS nestas regiões, pois nos meses de primavera/verão as temperaturas estimadas são mais elevadas do que nos meses representativos do outono/inverno, como era esperado, devido a variação da temperatura nas estações do ano.

Era esperado que com o aumento do índice de vegetação NDVI nessas 3 áreas no verão ocorresse a redução de TS, entretanto isto não ocorre, pois os efeitos do aquecimento de macro – escala (causado pelo aumento da incidência dos raios solares acarretam a elevação da temperatura) se sobrepõe ao efeito do uso do solo.

A área entre as latitudes de 22,7°S a, aproximadamente, 23,0°S e longitudes de 43,4°W até 43,2°W é a que ocorre os valores mais elevados da composição da estimativa de TS, sendo que nesta área as temperaturas podem ultrapassar os 54°C (por vezes atingindo valores em torno de 63°C) nos meses de primavera/verão e entre 39°C a 42°C no outono/inverno. Esta área é a que apresenta os menores valores de NDVI (evidenciando uma região com pouca ou nenhuma vegetação). Estas temperaturas são mais elevadas do que as estimadas

para áreas vizinhas (como os maciços da cidade do Rio de Janeiro), evidenciando um dos fatores característicos da ilha de calor urbana.

Ainda analisando as figuras entre 5.3.1 a 5.3.14 pode-se observar que as áreas entre os maciços da cidade do Rio de Janeiro e na porção oeste de Niterói e São Gonçalo (próximo a Baía de Guanabara) a sazonalidade da temperatura é bem evidente, com os mais elevados valores sendo estimados na primavera/verão e os mais baixos no outono/inverno.

Na figura 5.3.9, referente ao mês de agosto/2008, as temperaturas estimadas são tão elevadas quanto as que ocorrem nos meses de primavera e verão e chegam a alcançar valores entre 45°C a 48°C na área entre as latitudes de 22,7°S a, aproximadamente, 23,0°S e longitudes de 43,4°W até 43,2°W. Estas altas TS são devido a ação conjunta do efeito do uso do solo, grande número de dias com ausência de nebulosidade (que ocasionou a elevação das temperaturas) e baixo índice de precipitação.

Nas figuras 5.3.11 e 5.3.14 são representativas do mês de fevereiro de 2009 e 2010, respectivamente, para o satélite NOAA – 18. Nestas percebe-se *pixels* em branco na porção leste da cidade do Rio de Janeiro. Isto pode ser causado pela contaminação da nebulosidade nos dados, pois os horários deste satélite são do início da tarde, quando as nuvens convectivas encontram-se em processo de formação. Este processo leva a um significativo acúmulo de precipitação nos meses citados nesta área (entre 100 mm a 150 mm em fevereiro/2009 e 50 mm a 100 mm em fevereiro/2010, como pode ser visto no anexo A).

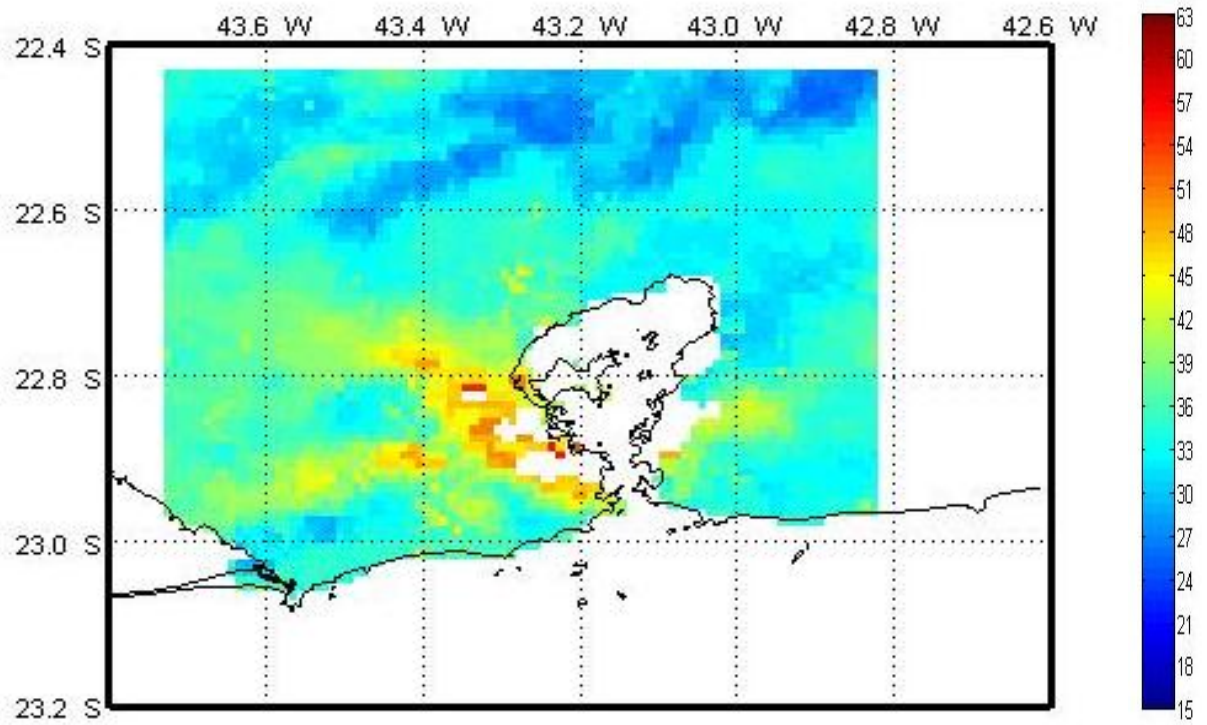


Figura 5.3.1: Composição dos maiores valores de TS em Outubro/2005 (NOAA – 14).

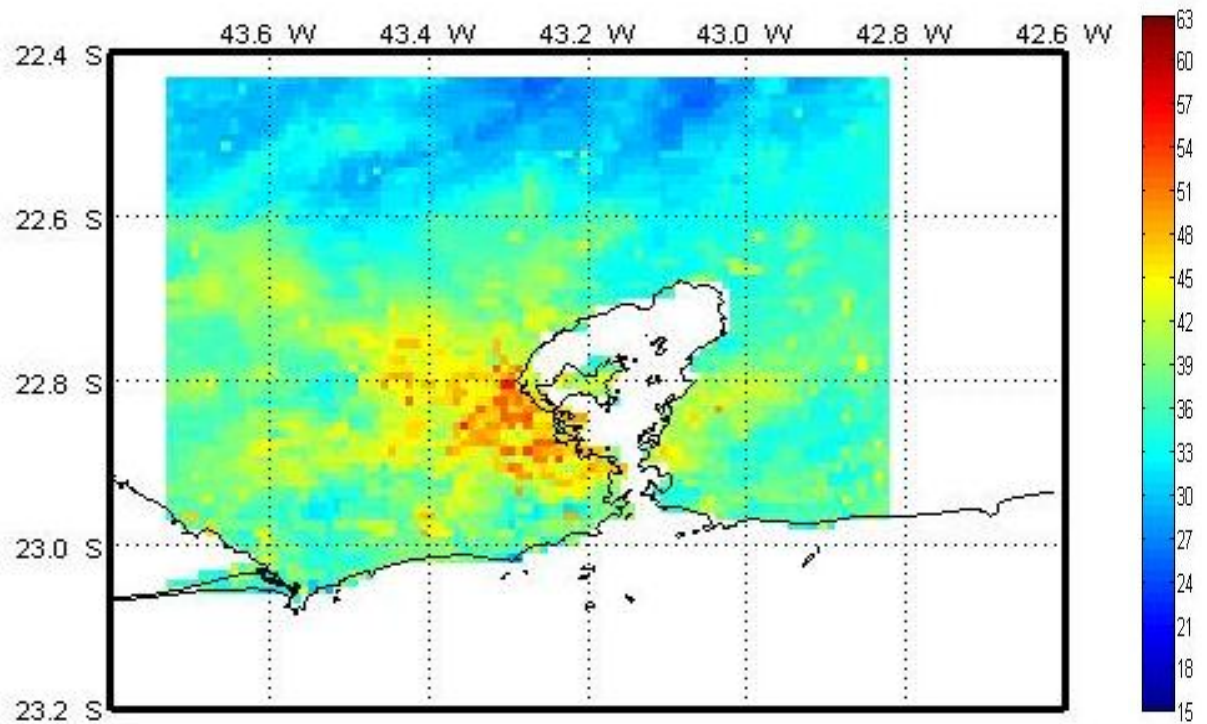


Figura 5.3.2: Composição dos maiores valores de TS em Janeiro/2006 (NOAA – 14).

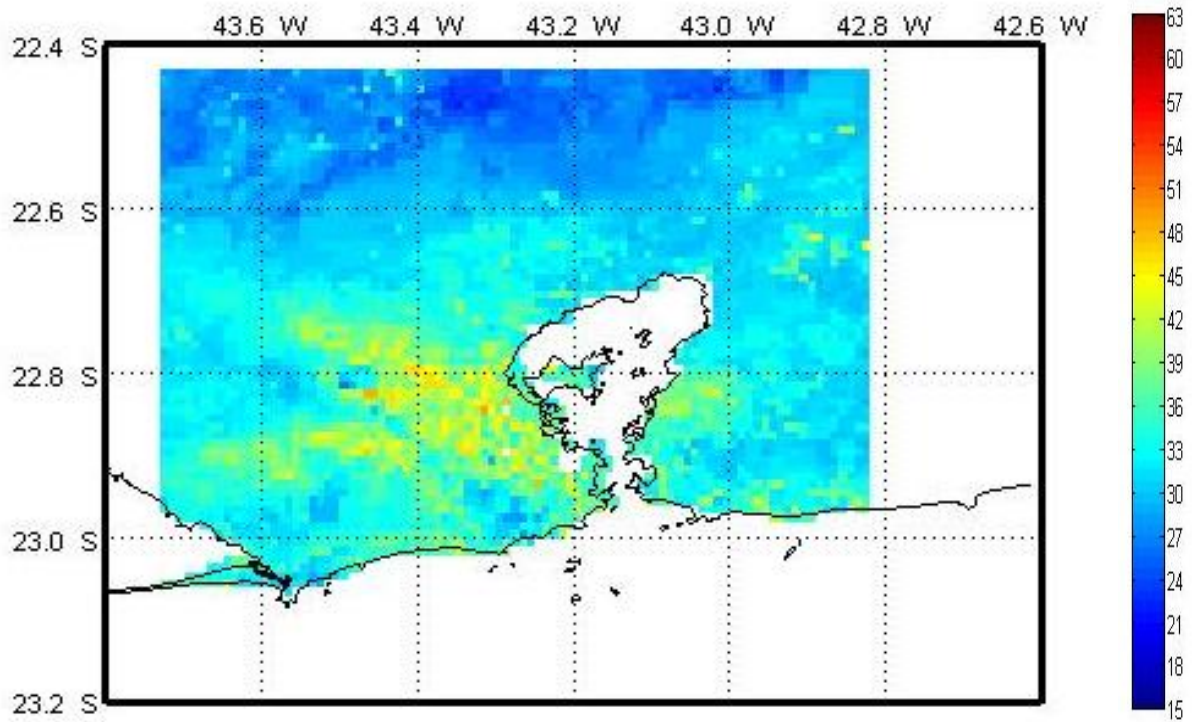


Figura 5.3.3: Composição dos maiores valores de TS em Abril/2006 (NOAA – 14).

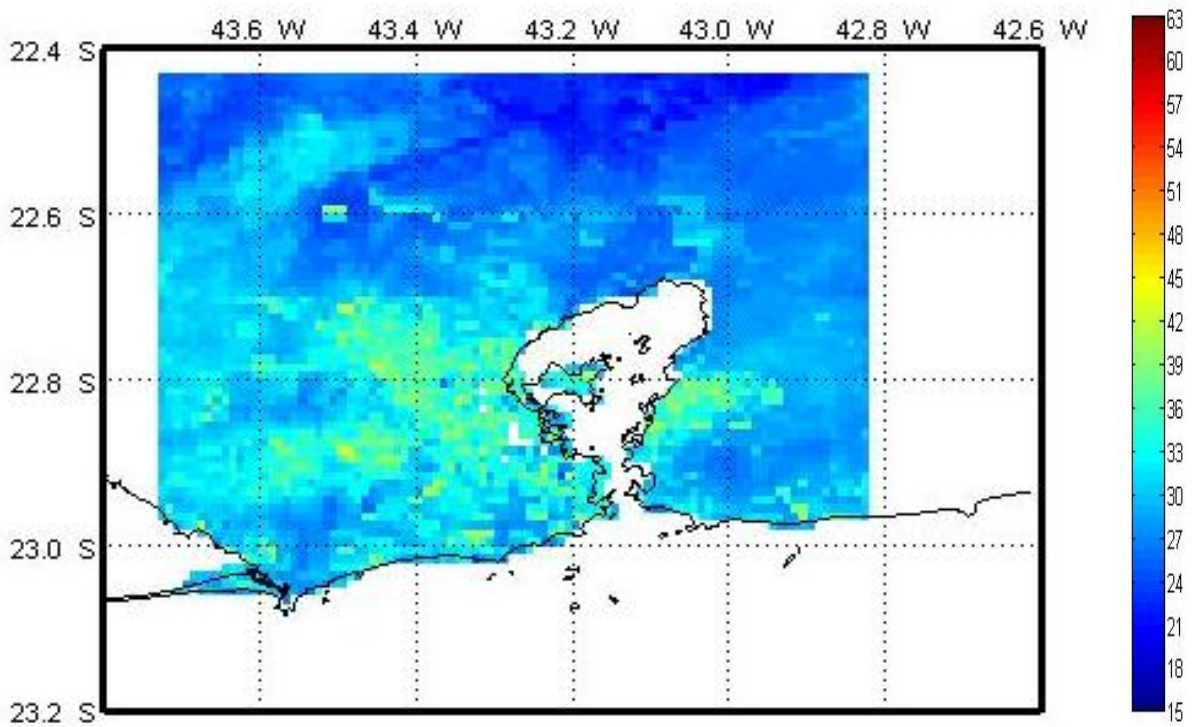


Figura 5.3.4: Composição dos maiores valores de TS em Julho/2006 (NOAA – 14).

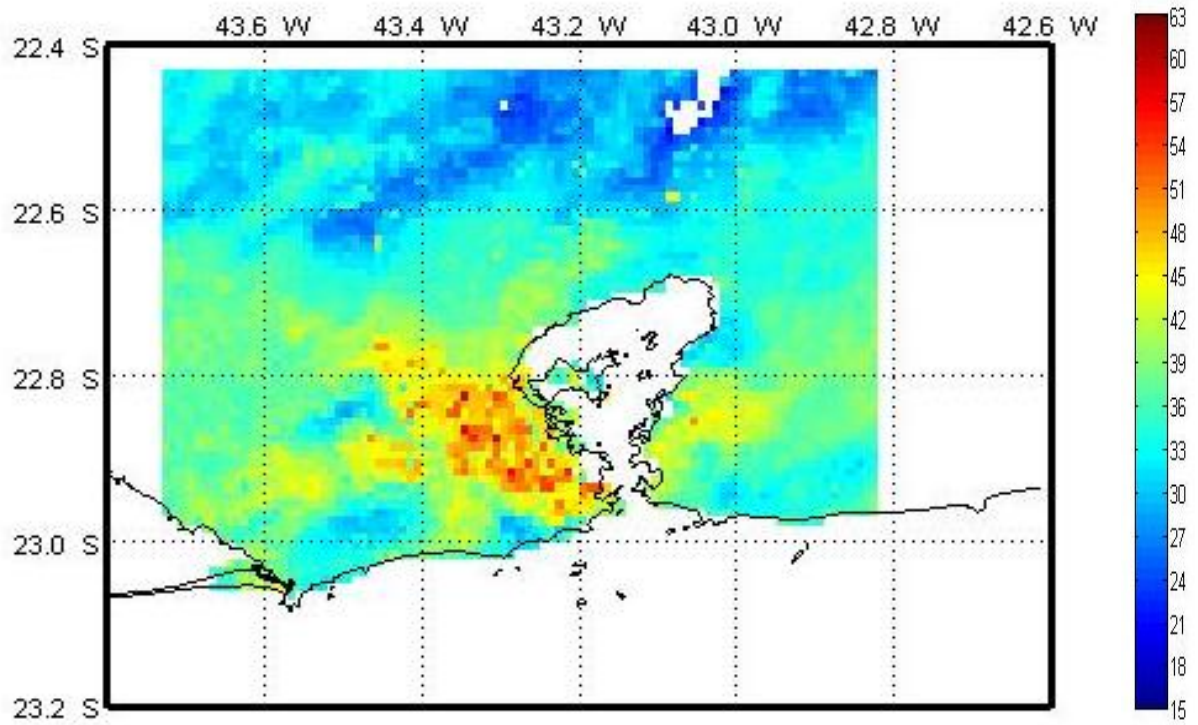


Figura 5.3.5: Composição dos maiores valores de TS em Outubro/2006 (NOAA – 14).

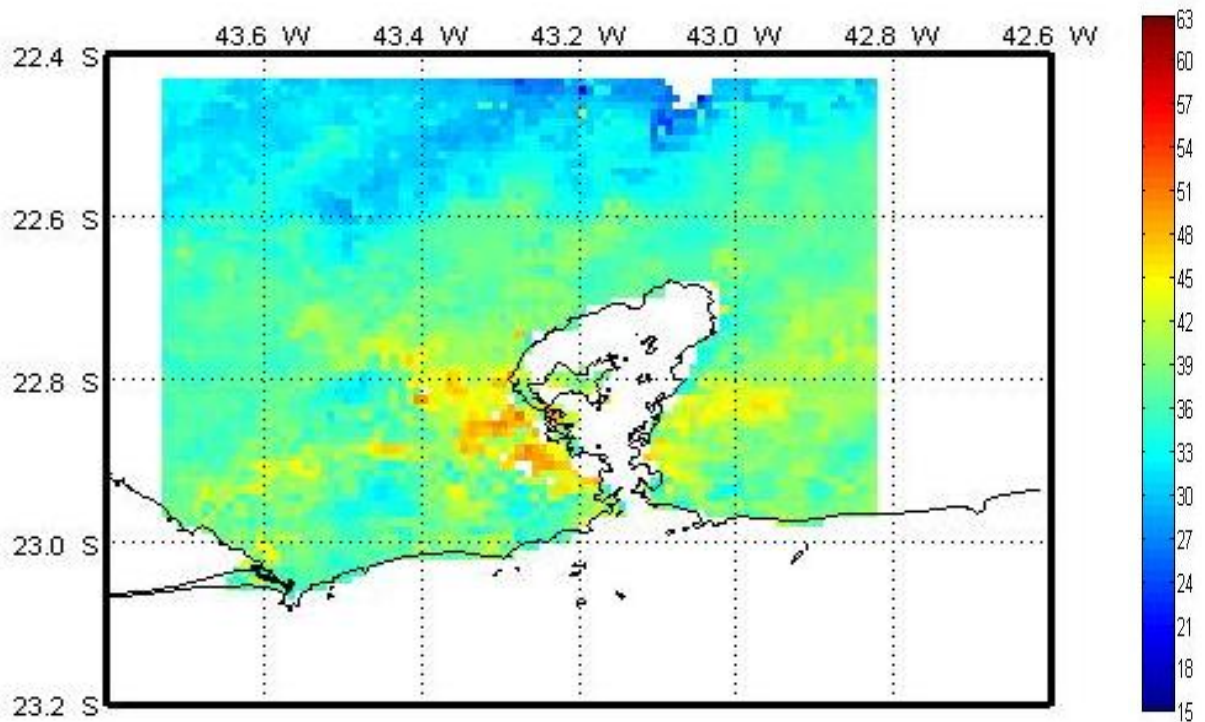


Figura 5.3.6: Composição dos maiores valores de TS em Dezembro/2006 (NOAA – 14).

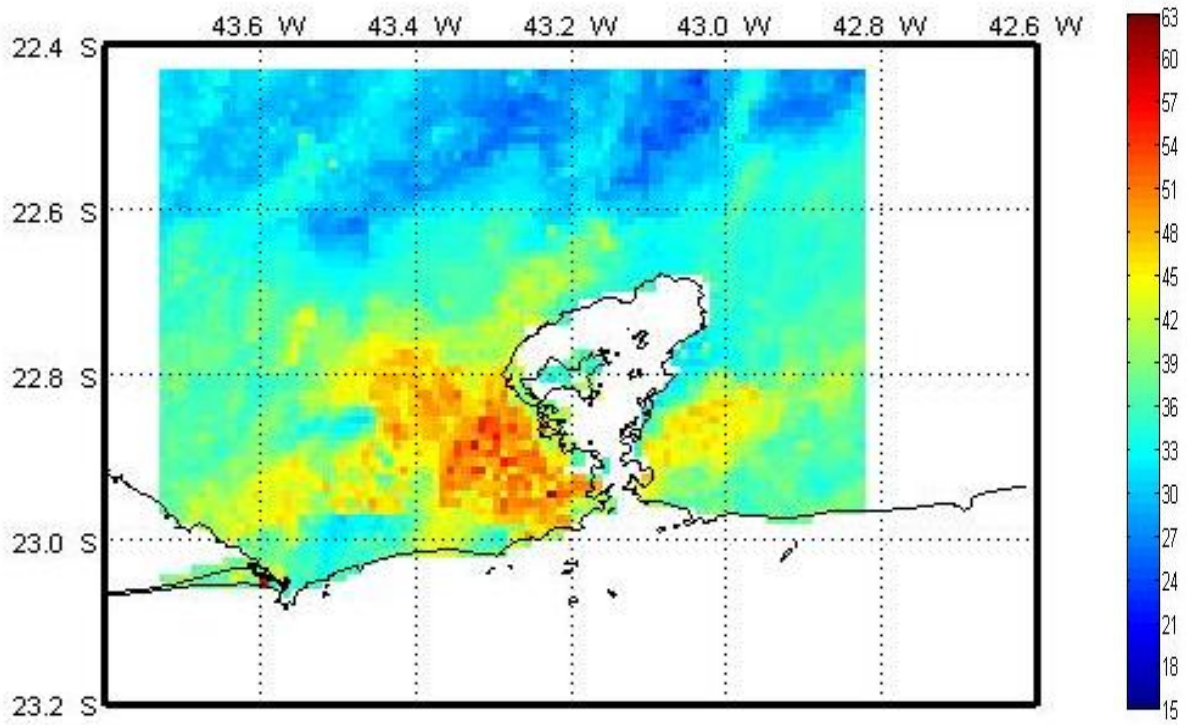


Figura 5.3.7: Composição dos maiores valores de TS em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).

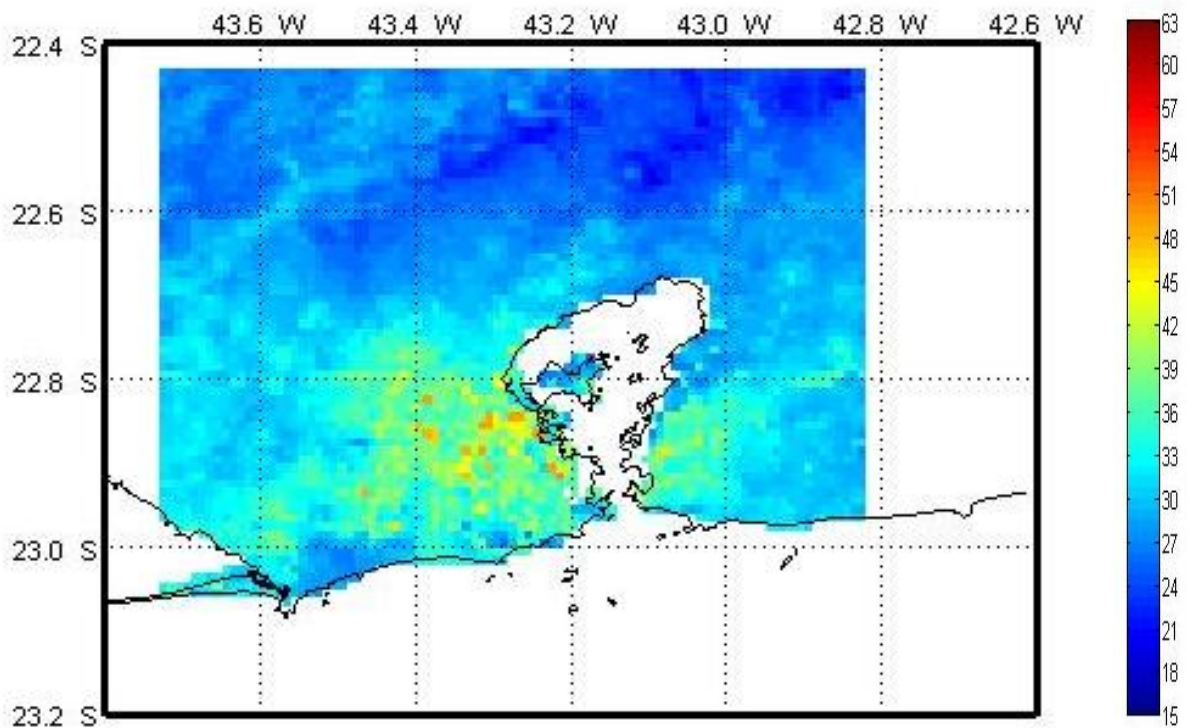


Figura 5.3.8: Composição dos maiores valores de TS em Maio/2007 (NOAA – 14).

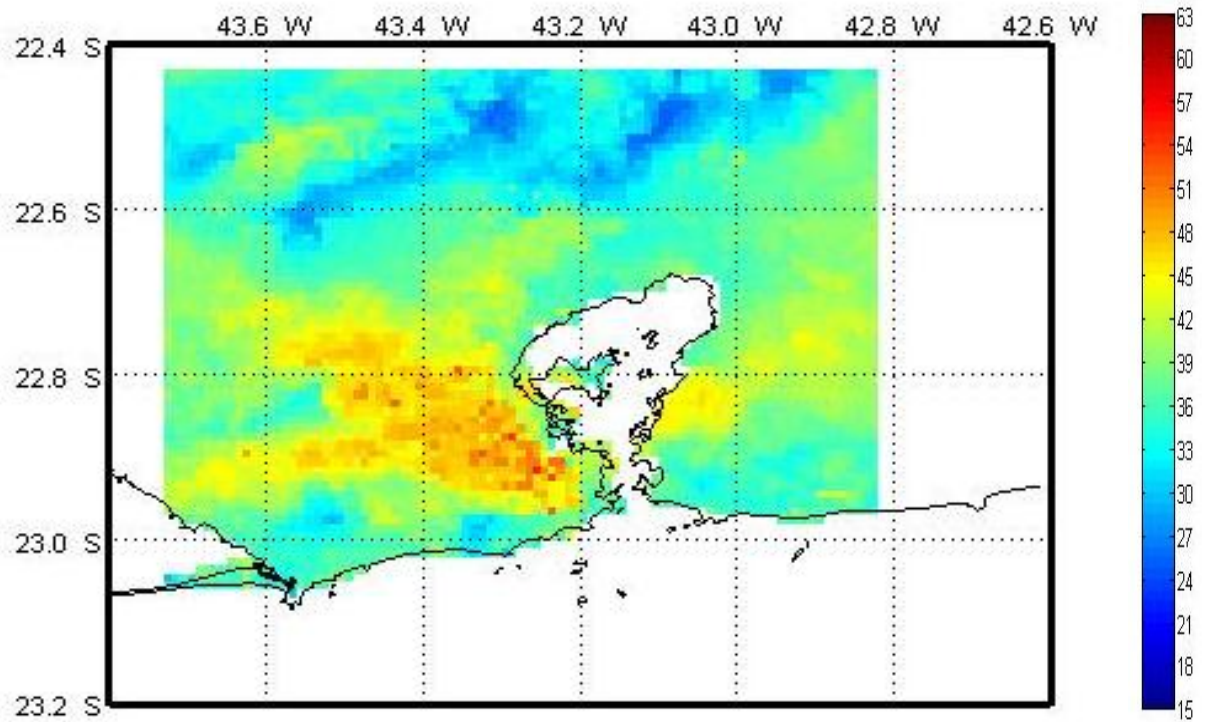


Figura 5.3.9: Composição dos maiores valores de TS em Agosto/2008 (NOAA – 18).

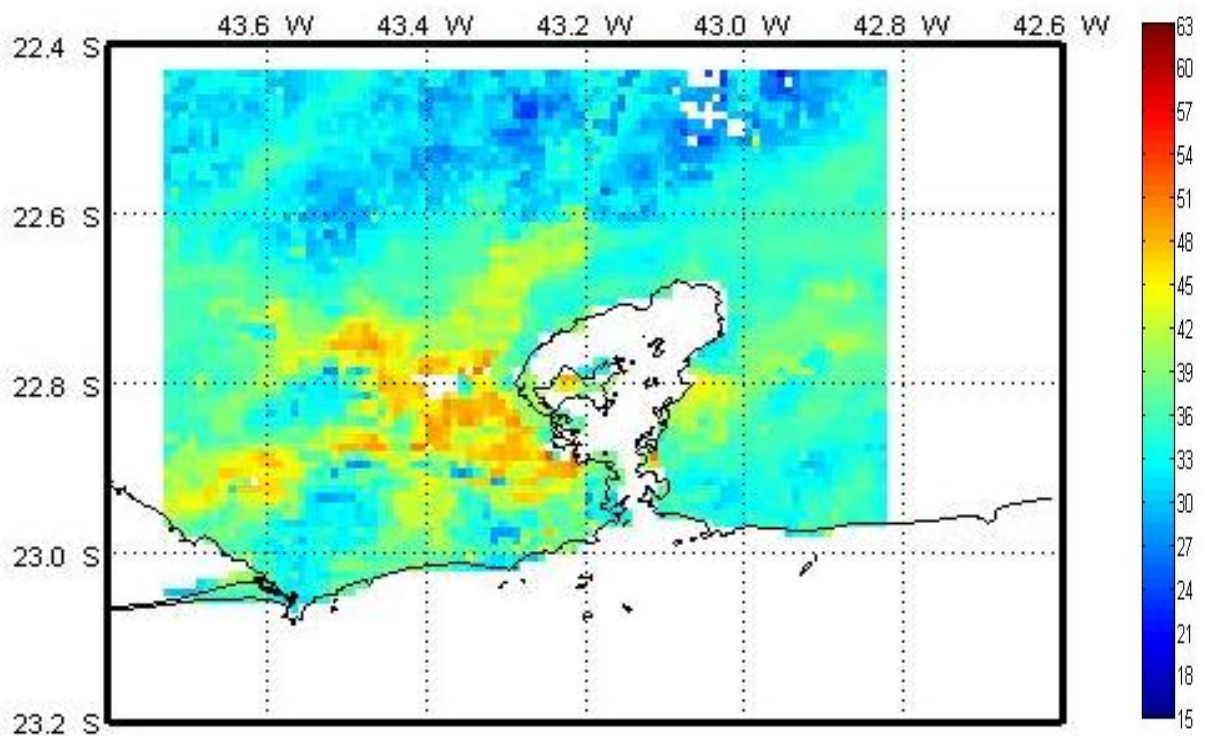


Figura 5.3.10: Composição dos maiores valores de TS em Dezembro/2008 (NOAA – 18).

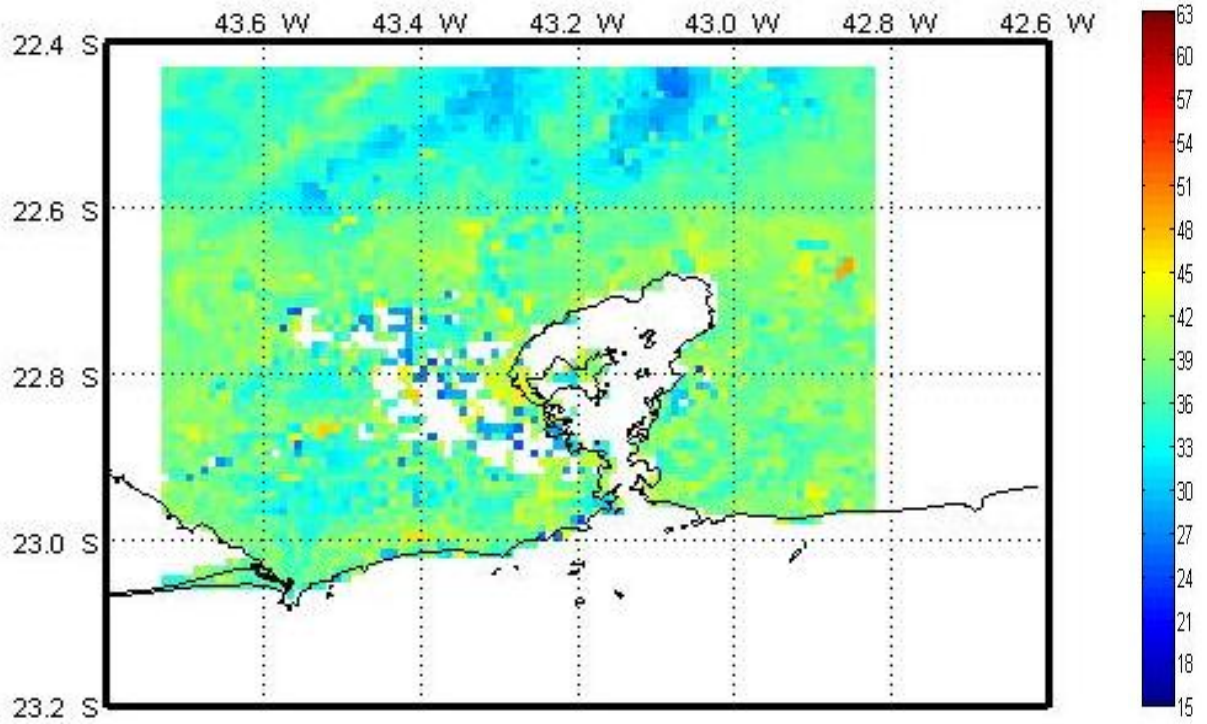


Figura 5.3.11: Composição dos maiores valores de TS em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).

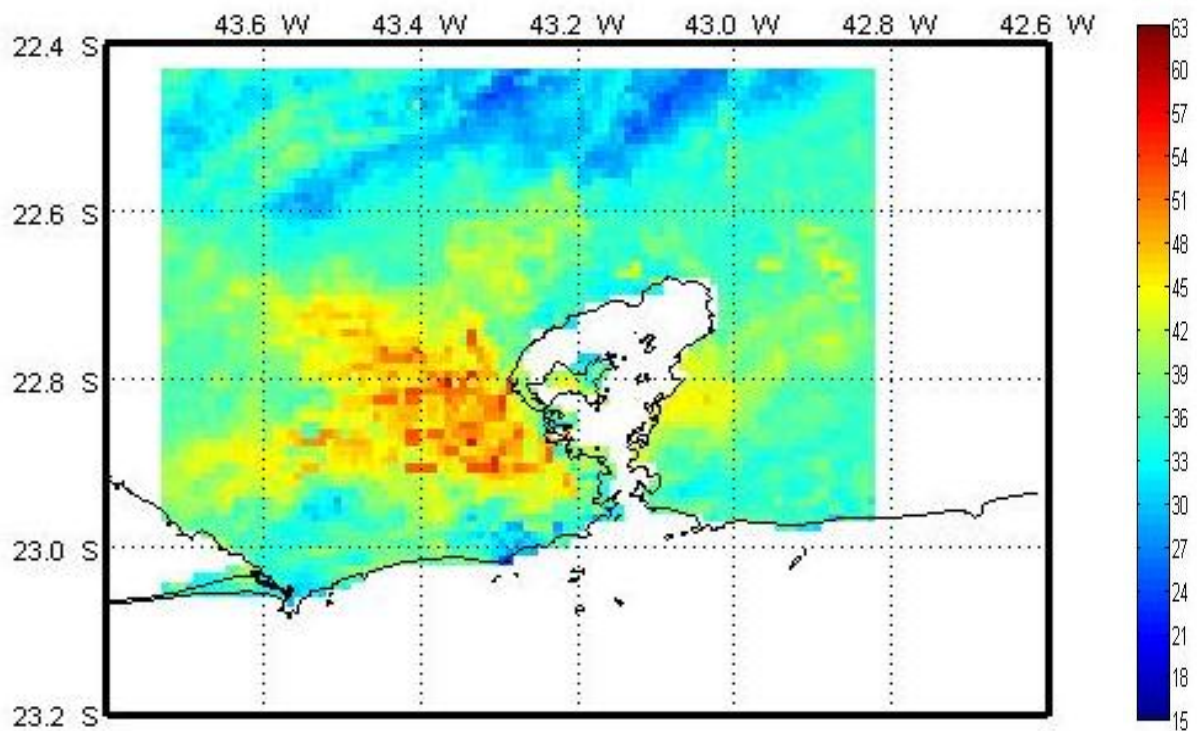


Figura 5.3.12: Composição dos maiores valores de TS em Agosto/2009 (NOAA – 18).

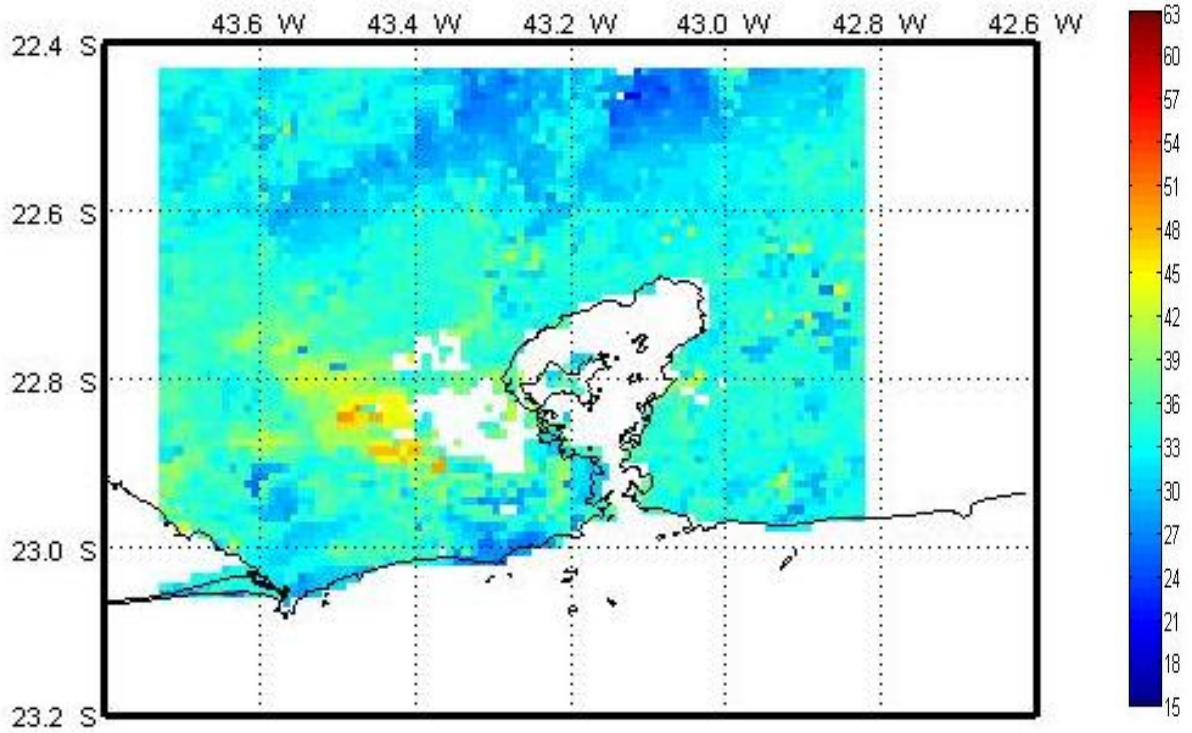


Figura 5.3.13: Composição dos maiores valores de TS em Outubro/2009 (NOAA – 18).

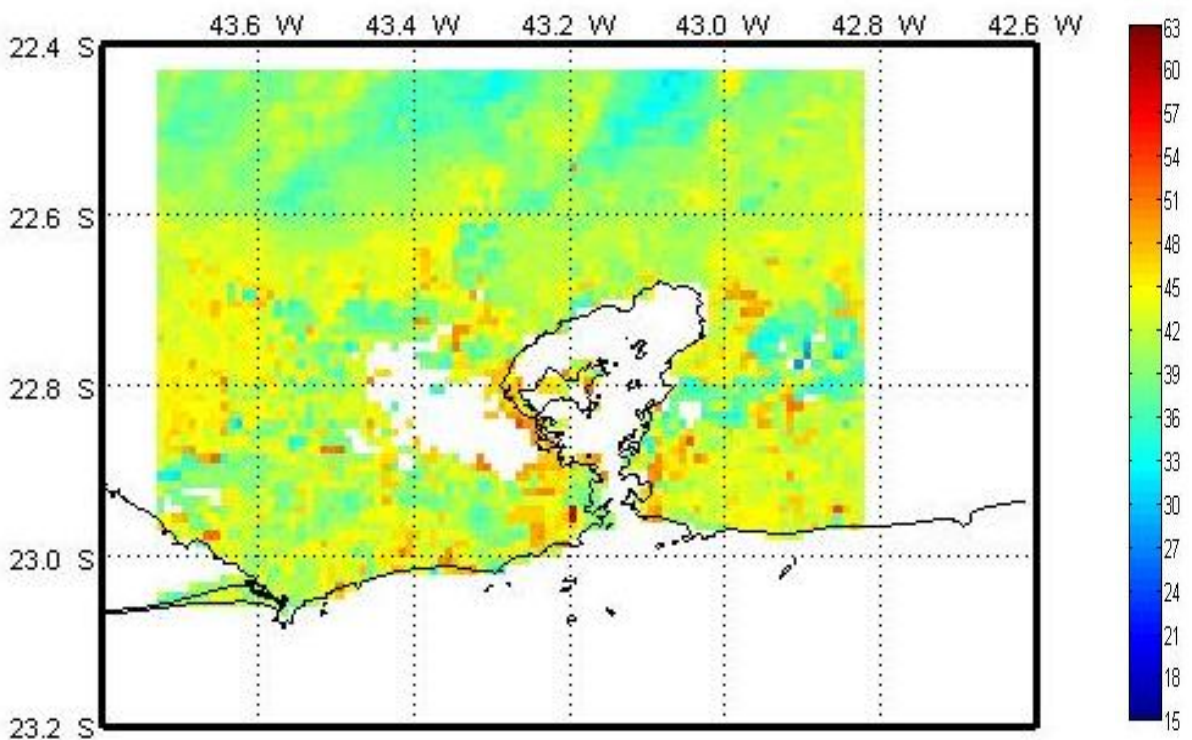


Figura 5.3.14: Composição dos maiores valores de TS em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).

Ao analisar as figuras 5.3.15 e 5.3.16 percebe-se que a segunda figura exibe valores mais elevados (entre 39°C a 45°C) em grande parte da área da RMRJ,

incluindo os maciços do Rio de Janeiro, de Niterói e a Serra do Mar, o que mostra uma “expansão” da mancha com elevados valores de TS. Já na 5.3.15 os maiores valores ficam concentrados na área com os mais baixos valores do NDVI. O fato pode ser explicado por os dados da figura 5.3.16 serem do início da tarde, quando a superfície terrestre já se encontra mais aquecida pela radiação solar, enquanto que a primeira imagem é do início da manhã. Os diferentes valores dos coeficientes A_0 até A_5 podem colaborar para esta diferença na estimativa de TS entre os satélites.

Ao se fazer a composição dos maiores valores de TS para todo o período de dados (figura 5.3.17) percebe-se essa influência dos maiores valores de temperatura que são estimados através dos dados do NOAA – 18, pois somente na área mais ao norte da RMRJ (na Serra do Mar) encontram – se os valores mais reduzidos (entre 33°C a 39°C), enquanto grande parte da área do estudo as temperaturas são superiores a 42°C e atingindo picos próximos a 65°C. Isto evidencia que a área da RMRJ se configura em uma extensa região de altas temperaturas à superfície.

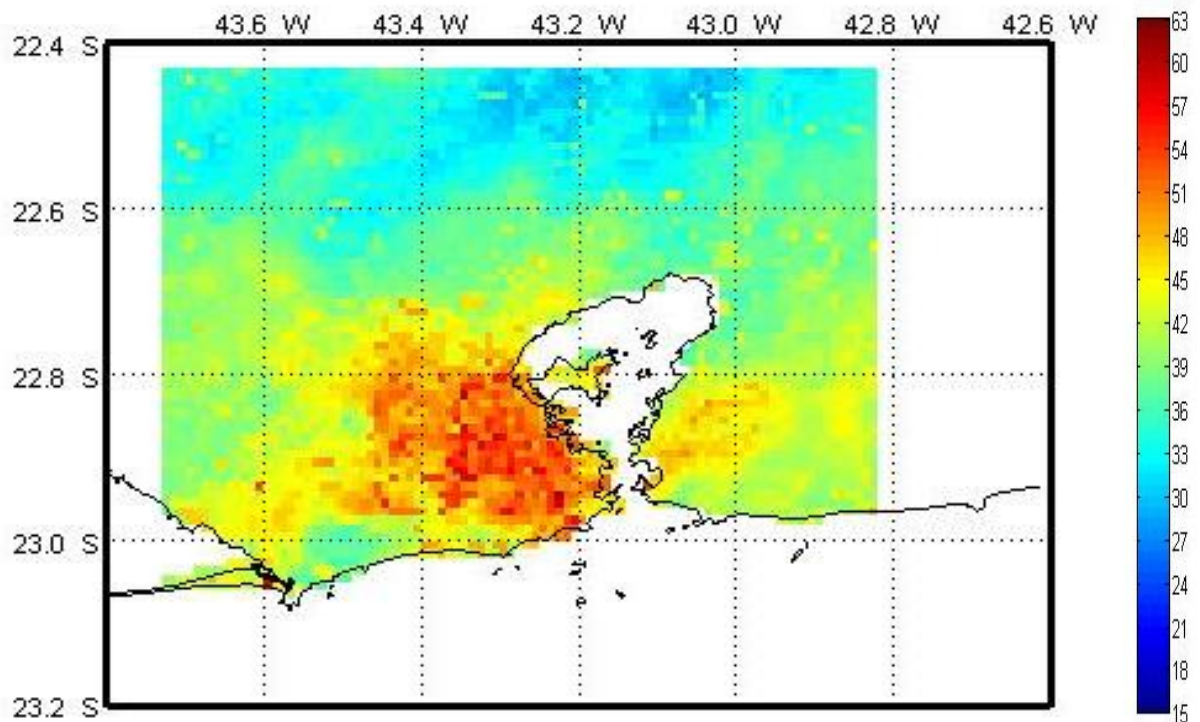


Figura 5.3.15: Composição dos maiores valores de TS para o NOAA – 14.

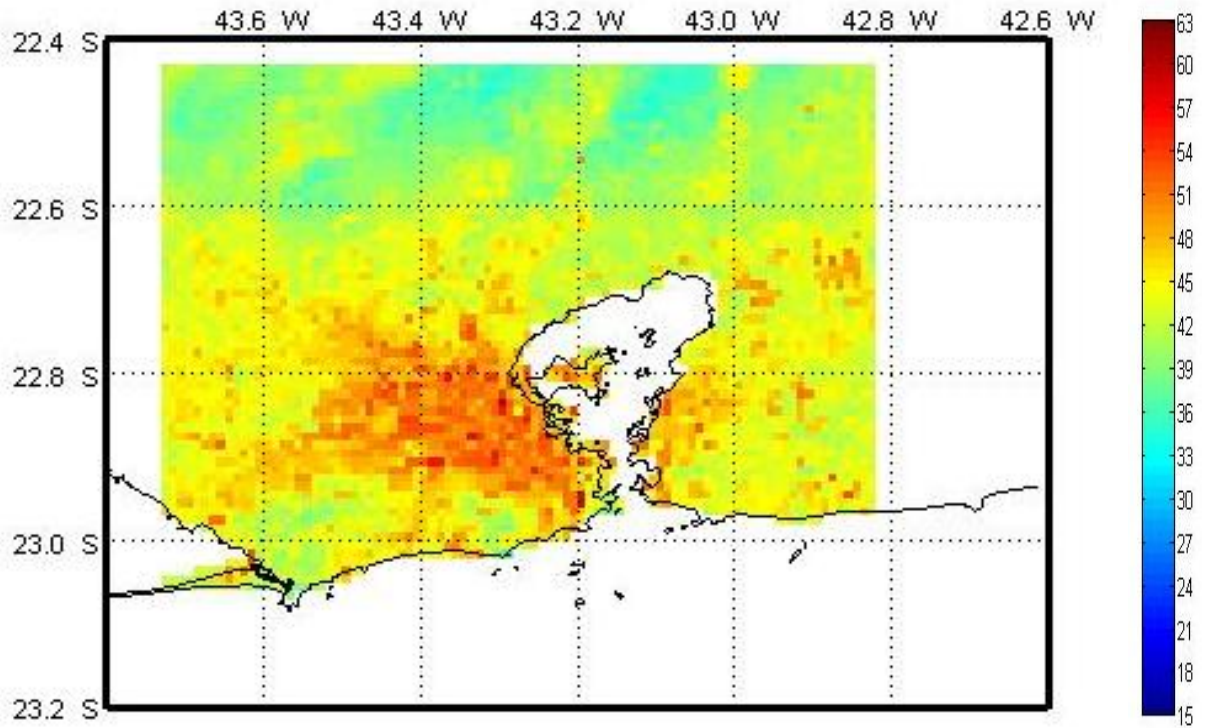


Figura 5.3.16: Composição dos maiores valores de TS para o NOAA – 18.

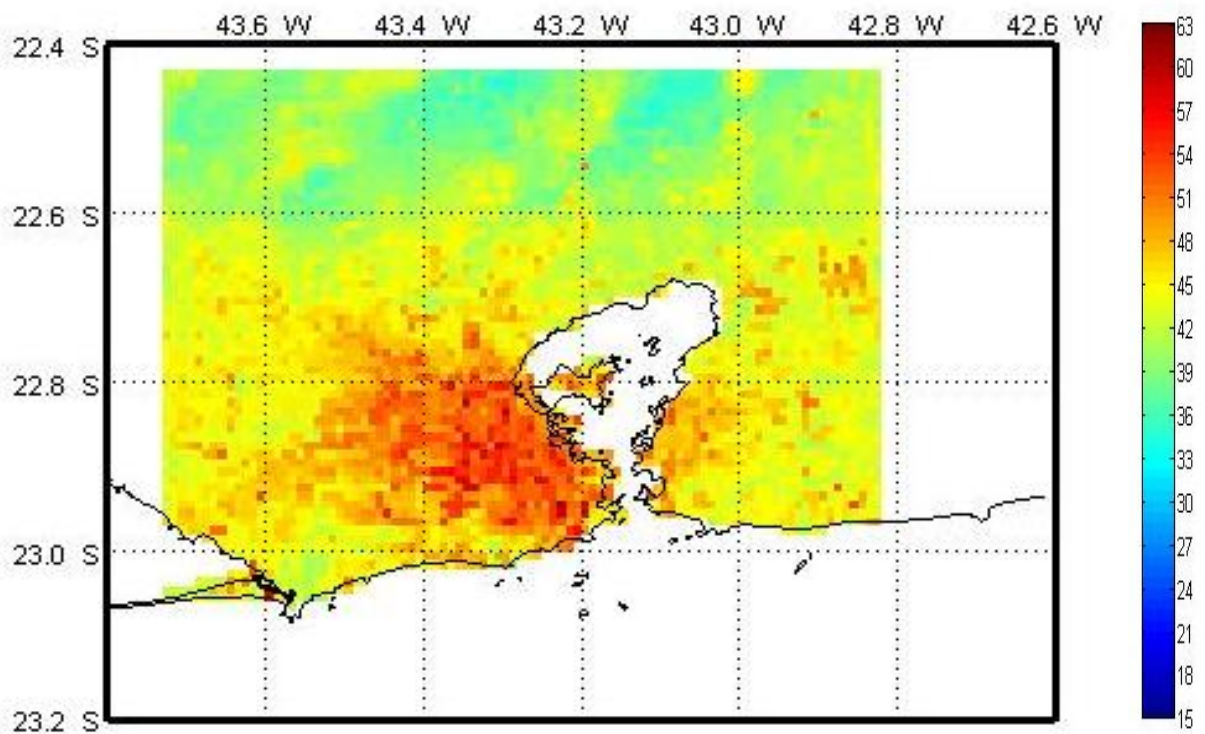


Figura 5.3.17: Composição dos maiores valores de TS para os dois conjuntos de dados.

5.4 – Transectors e Perfil Térmico

Nesta seção serão mostrados os resultados obtidos a partir dos *transectors*, ou seja, os perfis térmicos para os meses apresentados na tabela 5.1. Os *transectors* foram confeccionados para a mesma latitude ($22,85^{\circ}\text{S}$) em todas as composições dos maiores valores de TS. A figura 5.4.1 exibe um exemplo destes transectors. Esse valor de latitude foi selecionado por estar na área onde ocorrem os mais elevados valores da composição dos maiores TS que foram apresentados na seção anterior, além de atravessar áreas com valores de TS mais reduzidos.

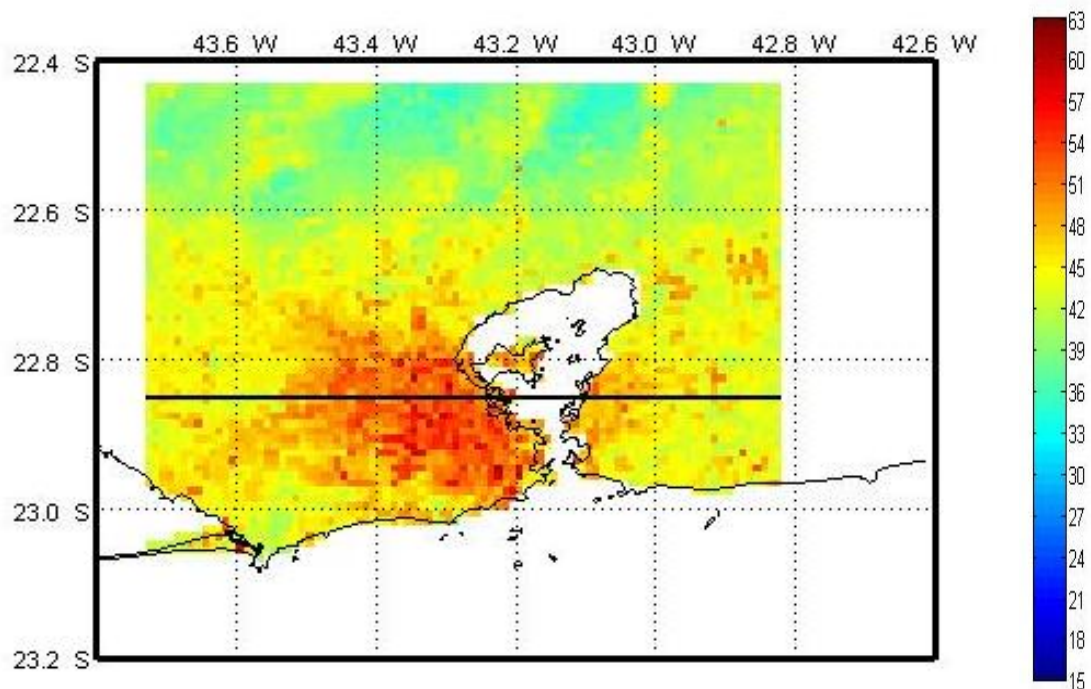


Figura 5.4.1: Transector na latitude $22,85^{\circ}\text{S}$.

As figuras 5.4.2 até 5.4.15 representam o perfil térmico da composição dos maiores valores de TS na latitude de $22,85^{\circ}\text{S}$ para os meses mostrados na tabela 5.1. A análise destas figuras mostra que os picos de valores mais elevados ocorrem entre as longitudes de $43,2^{\circ}\text{W}$ a $43,4^{\circ}\text{W}$ ao longo do período de dados. Nos meses de primavera/verão os valores da TS são em torno de 55°C (podendo alcançar 60°C) e nos meses de outono/inverno alcançam valores próximos a 45°C .

Também é observado que entre as longitudes de 43,1°W e 43,2°W há um espaço branco em todos os perfis térmicos mostrados. Isto deve-se a Baía de Guanabara estar situada entre estas longitudes e os valores de TS nesta área serem desconsiderados.

Em julho/2006 e outubro/2006, entre as longitudes de 43,1°W a 43,0°W, percebe-se a ocorrência dos maiores valores de TS nesta área (respectivamente, próximo a 40°C e 50°C). Ao se comparar estes perfis térmicos com as figuras da composição dos maiores TS nota-se que esta localidade é a porção oeste entre as cidades de Niterói e São Gonçalo (onde as figuras exibem valores elevados de TS).

Em fevereiro/2009, outubro/2009 e fevereiro/2010 a contaminação da nebulosidade é observada nos espaços em branco entre os pontos das maiores TS. Estes espaços brancos ocorrem, principalmente, na região entre as longitudes de 43,2°W a 43,4°W, onde os perfis térmicos exibiram seus maiores valores de TS.

Nos meses inseridos na primavera/verão a amplitude térmica é mais elevada (aproximadamente 20°C) do que no período de outono/inverno (em torno de 10°C). Estas amplitudes térmicas devem-se a latitude usada como referência atravessar tanto a área do maciço de Gericinó (nas longitudes próximas a 43,5°W) como uma parte da região com as TS mais elevadas. A primeira área detém alto valor de NDVI (é considerada uma área vegetada) e com menores valores de TS, enquanto a segunda área é caracterizada por pouca ou nenhuma vegetação e altos valores de TS. Isto mostra que a diferença de uso de solo influi diretamente na estimativa de TS. Além disto, as altas amplitudes térmicas entre áreas consideradas menos vegetadas e com maior vegetação é uma característica do fenômeno da ilha de calor urbana.

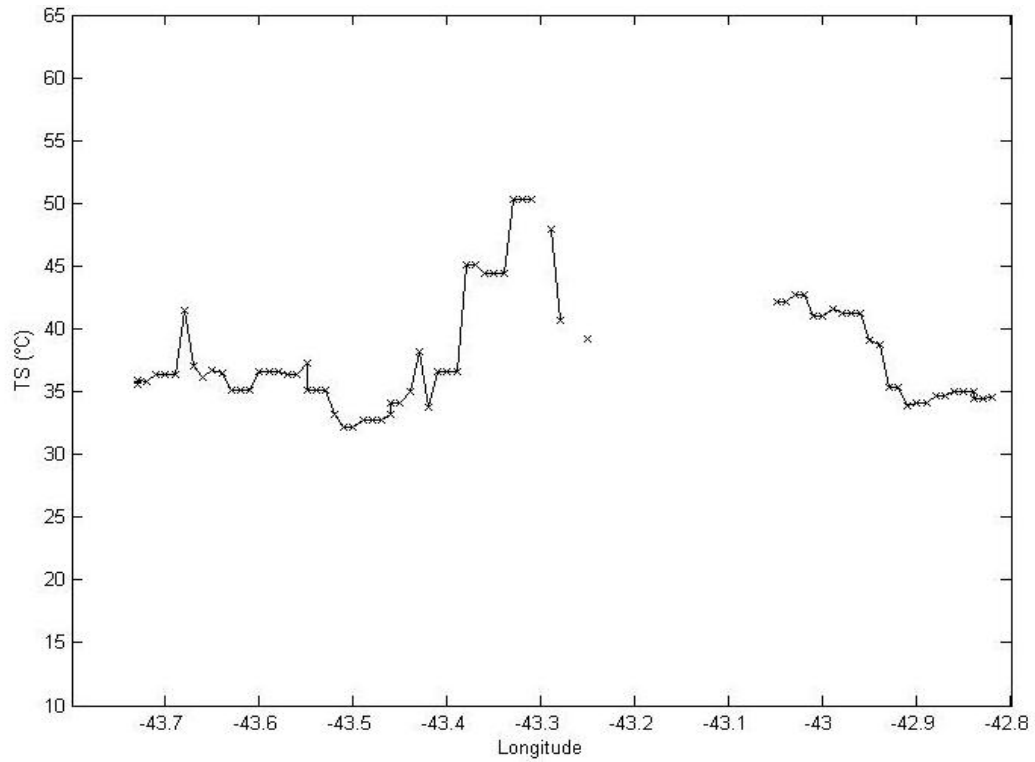


Figura 5.4.2: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude $22,85^{\circ}\text{S}$ em Outubro/2005 (NOAA – 14).

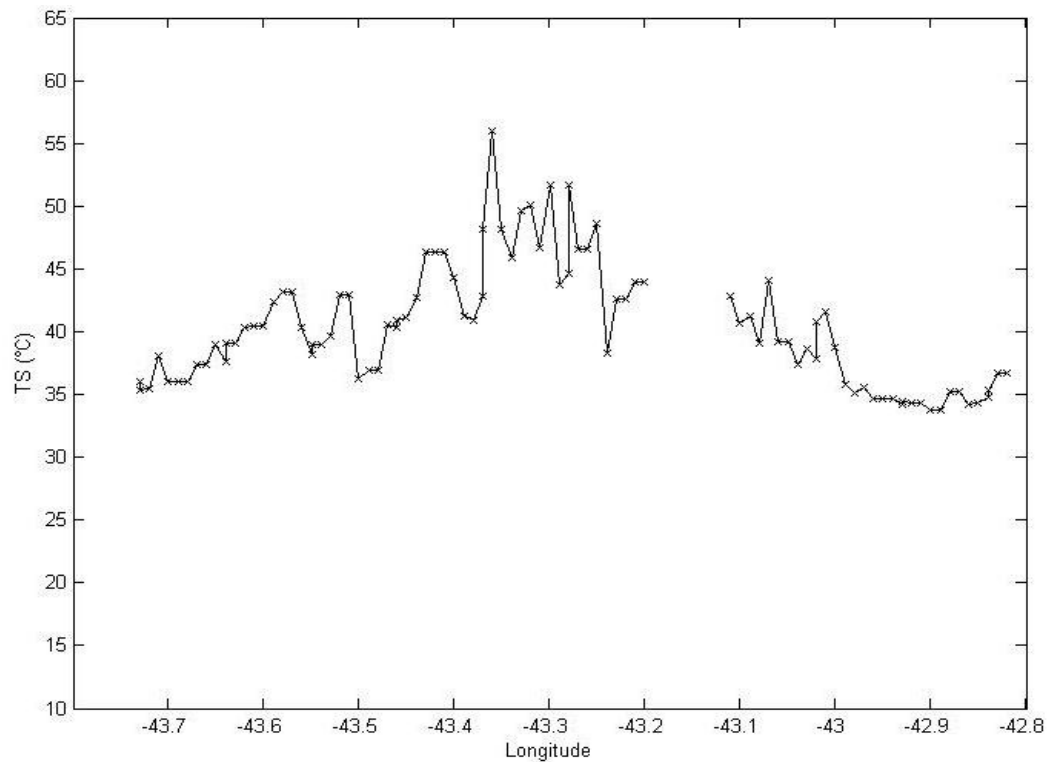


Figura 5.4.3: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude $22,85^{\circ}\text{S}$ em Janeiro/2006 (NOAA – 14).

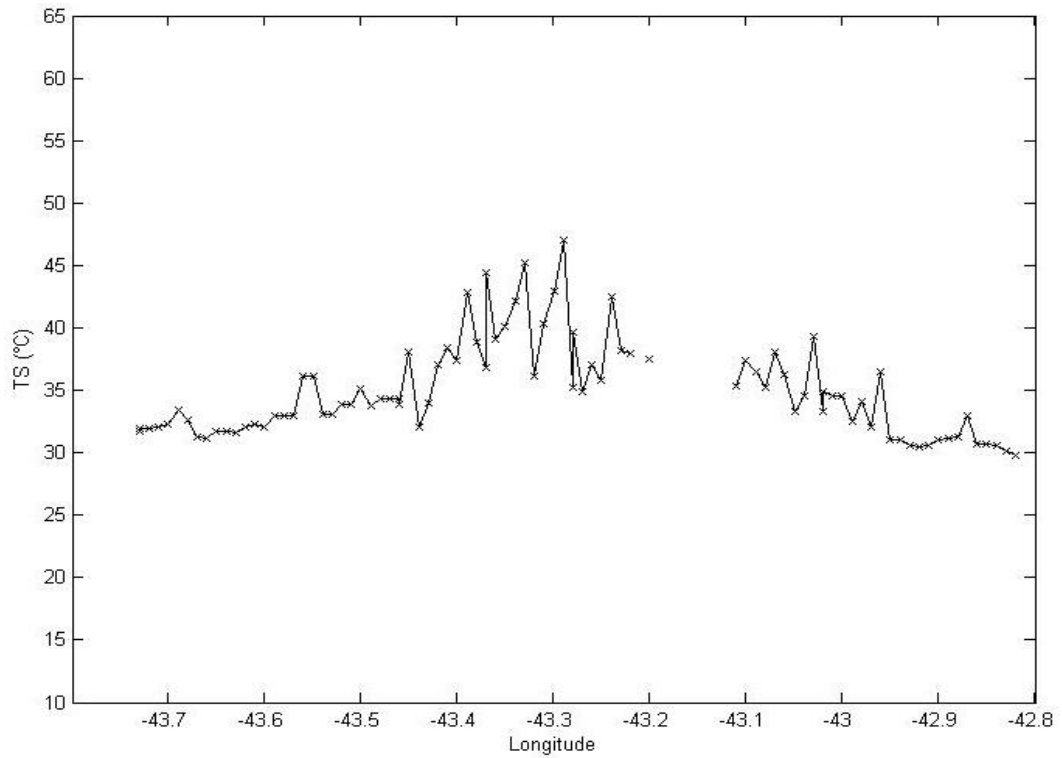


Figura 5.4.4: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Abril/2006 (NOAA – 14).

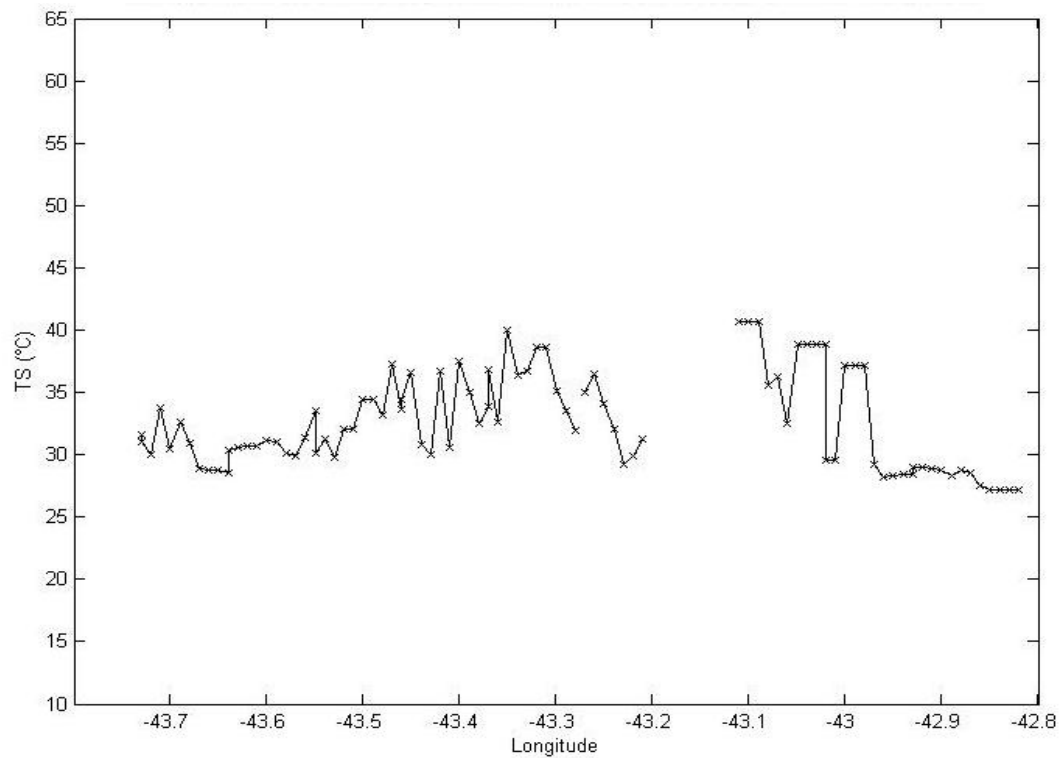


Figura 5.4.5: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Julho/2006 (NOAA – 14).

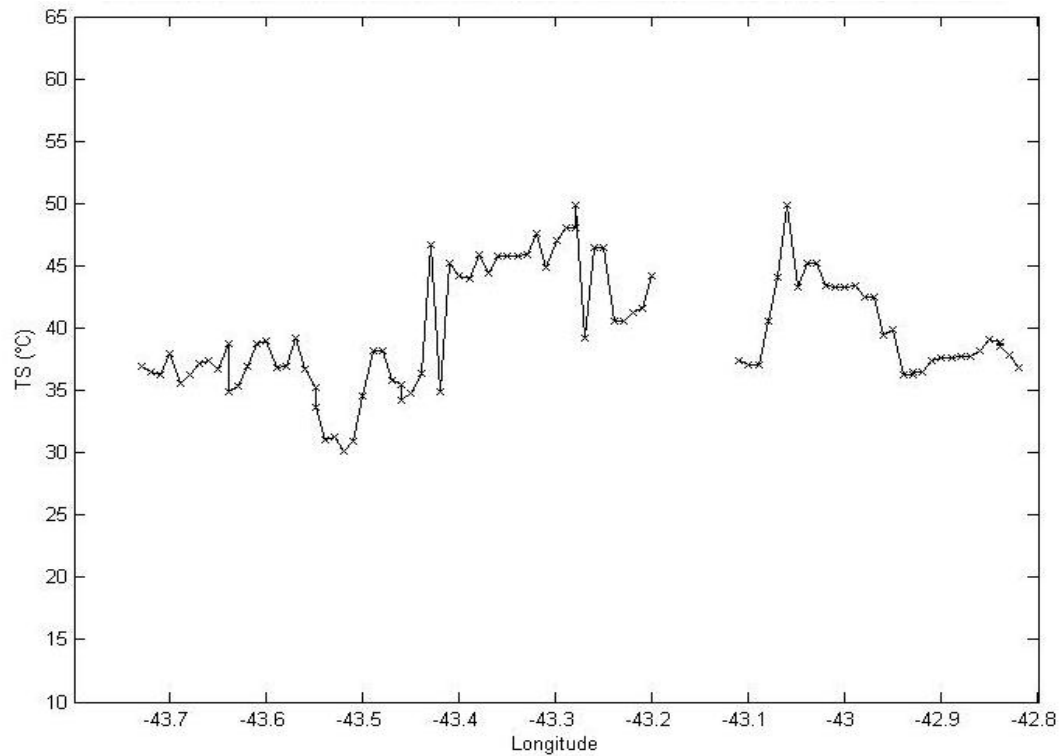


Figura 5.4.6: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Outubro/2006 (NOAA – 14).

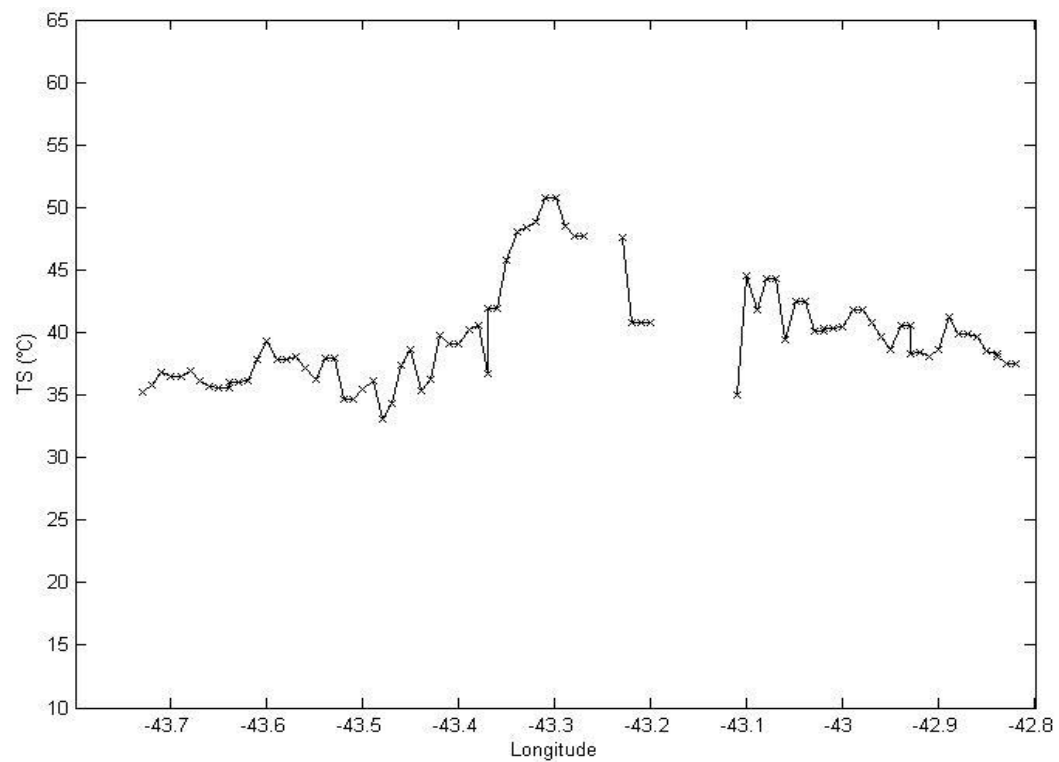


Figura 5.4.7: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Dezembro/2006 (NOAA – 14).

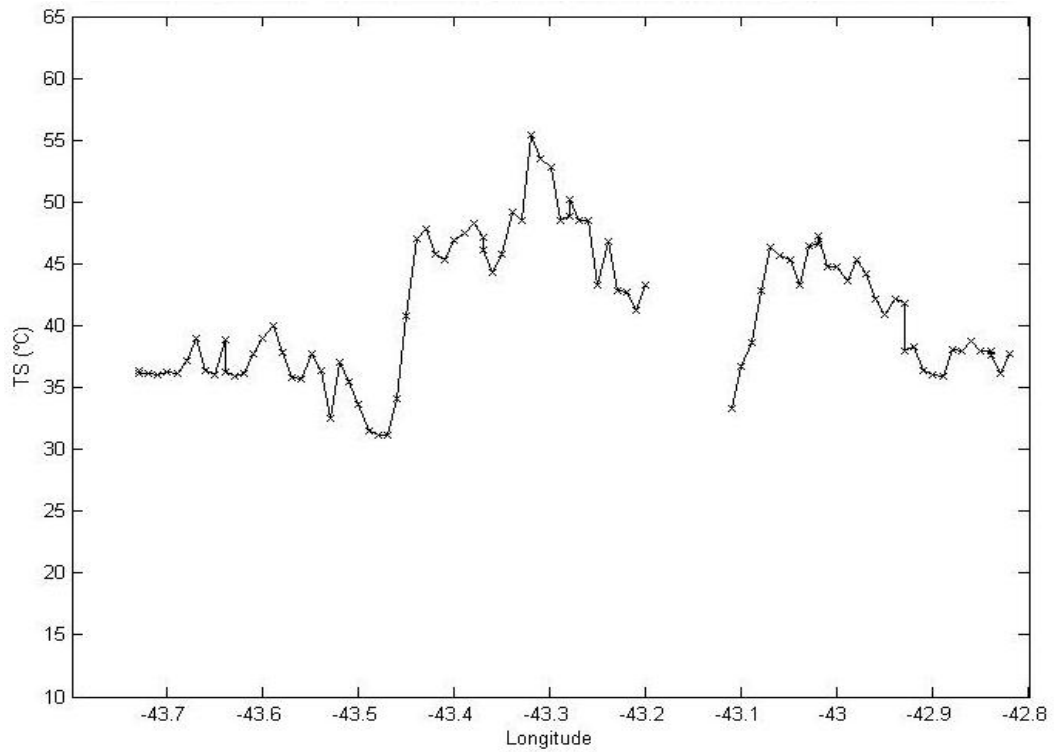


Figura 5.4.8: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).

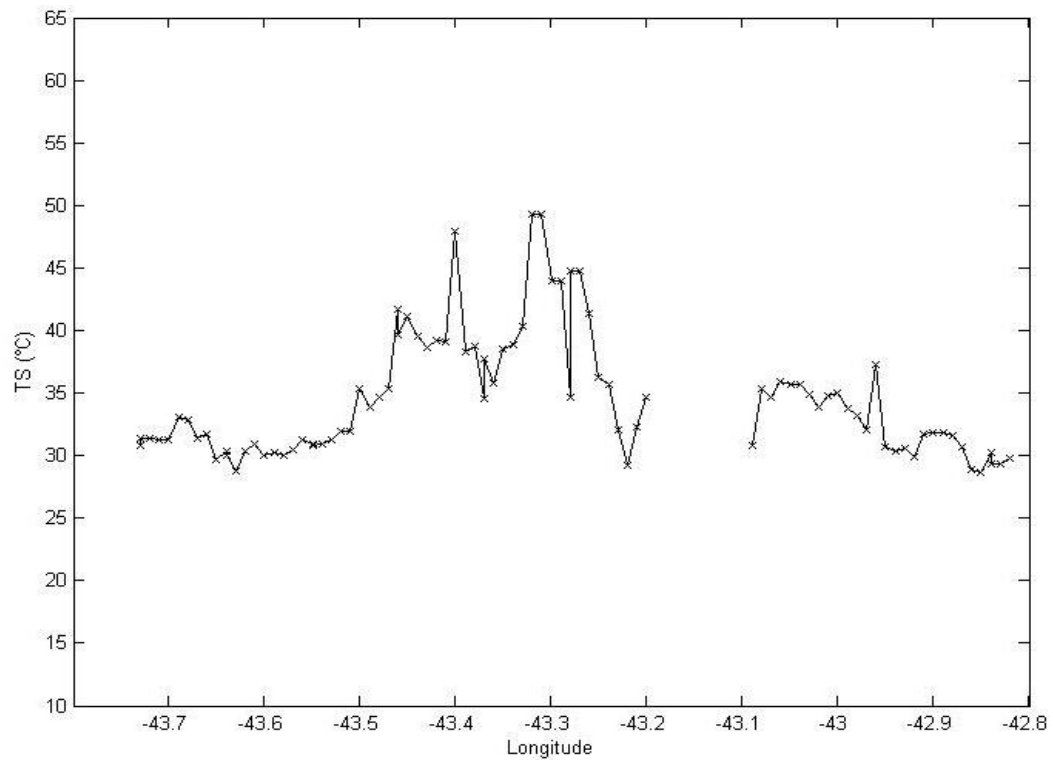


Figura 5.4.9: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Maio/2007 (NOAA – 14).

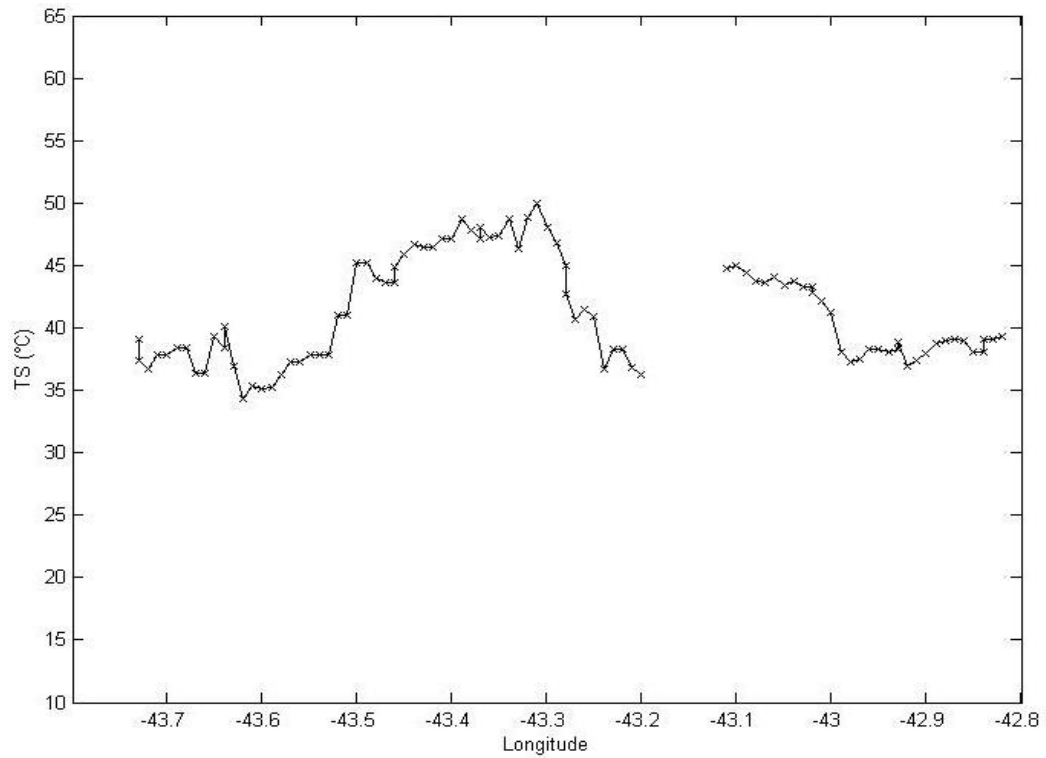


Figura 5.4.10: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Agosto/2008 (NOAA – 18).

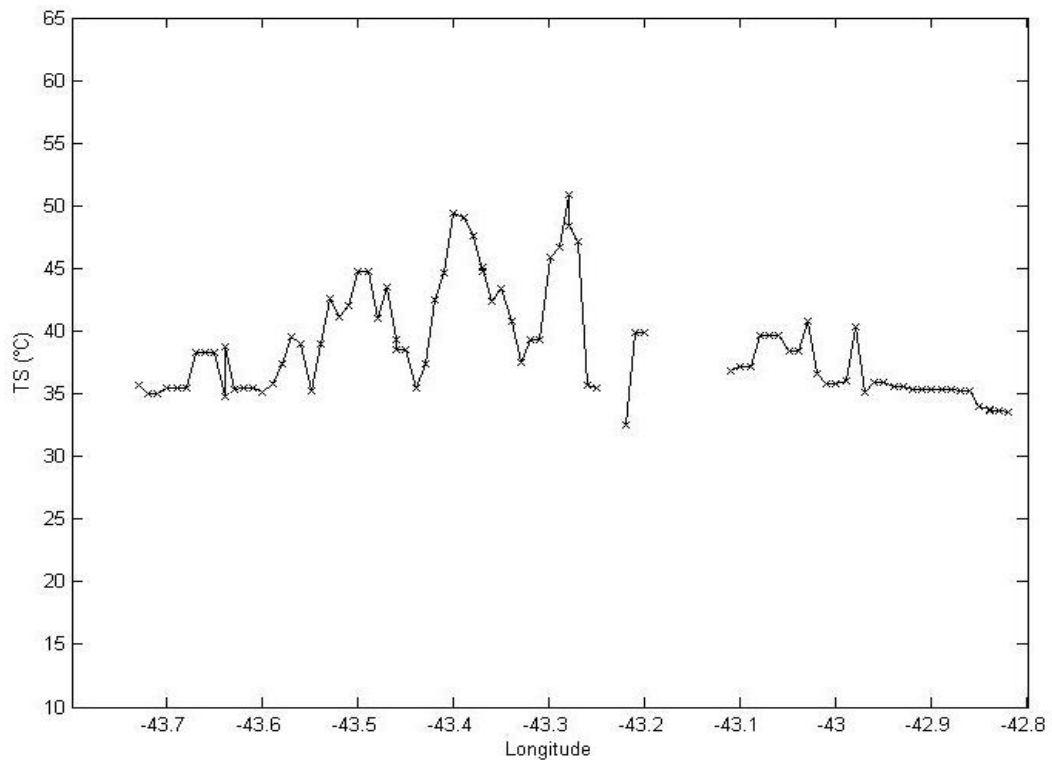


Figura 5.4.11: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Dezembro/2008 (NOAA – 18).

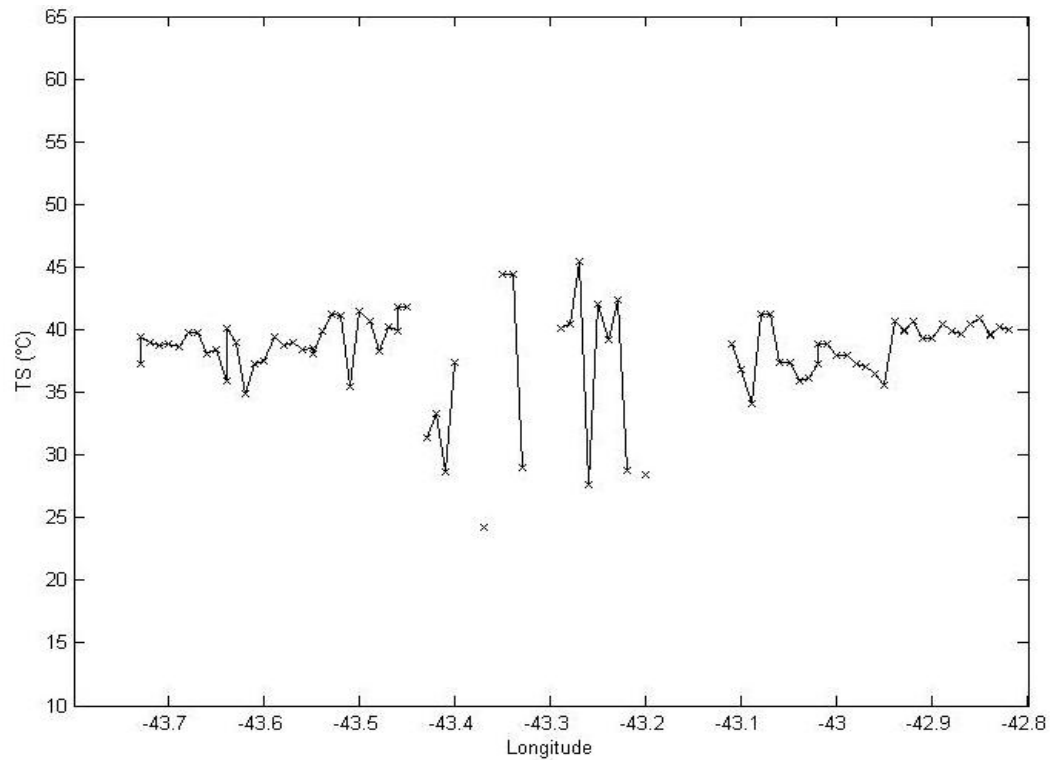


Figura 5.4.12: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).

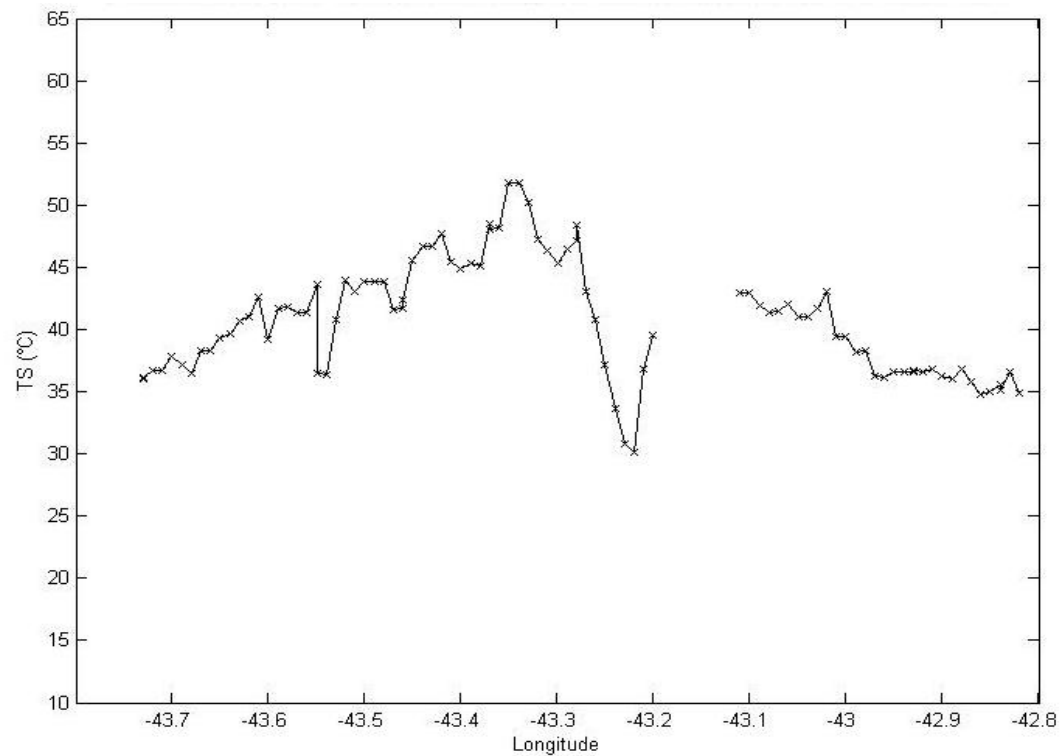


Figura 5.4.13: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Agosto/2009 (NOAA – 18).

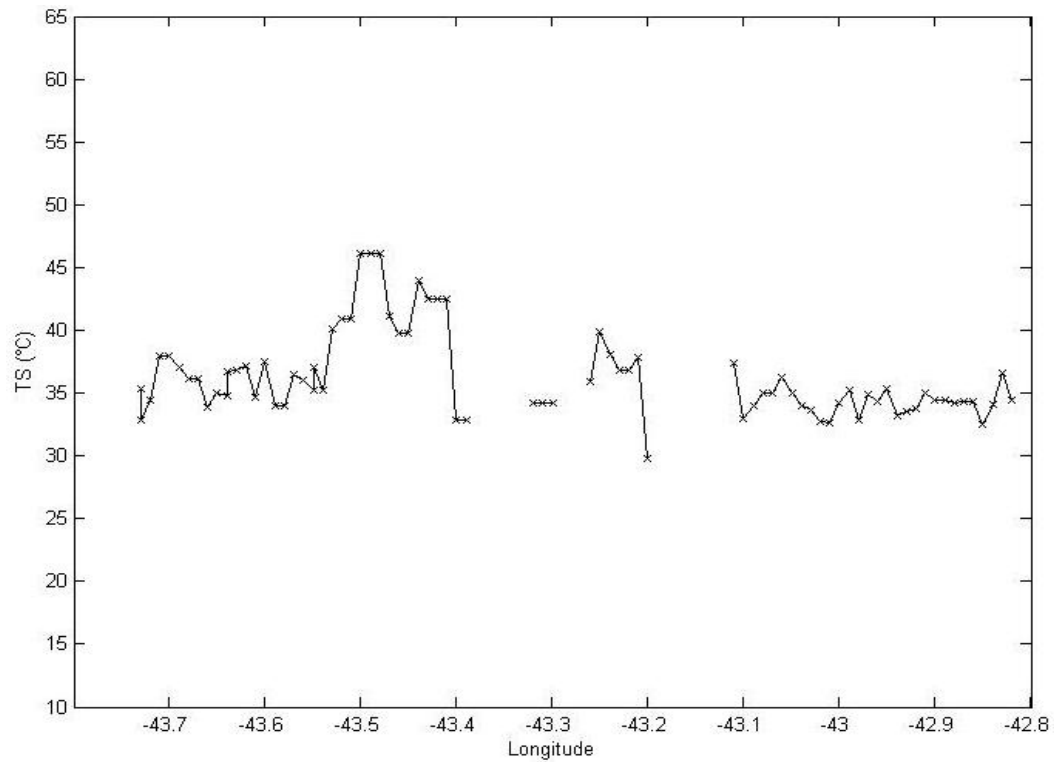


Figura 5.4.14: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Outubro/2009 (NOAA – 18).

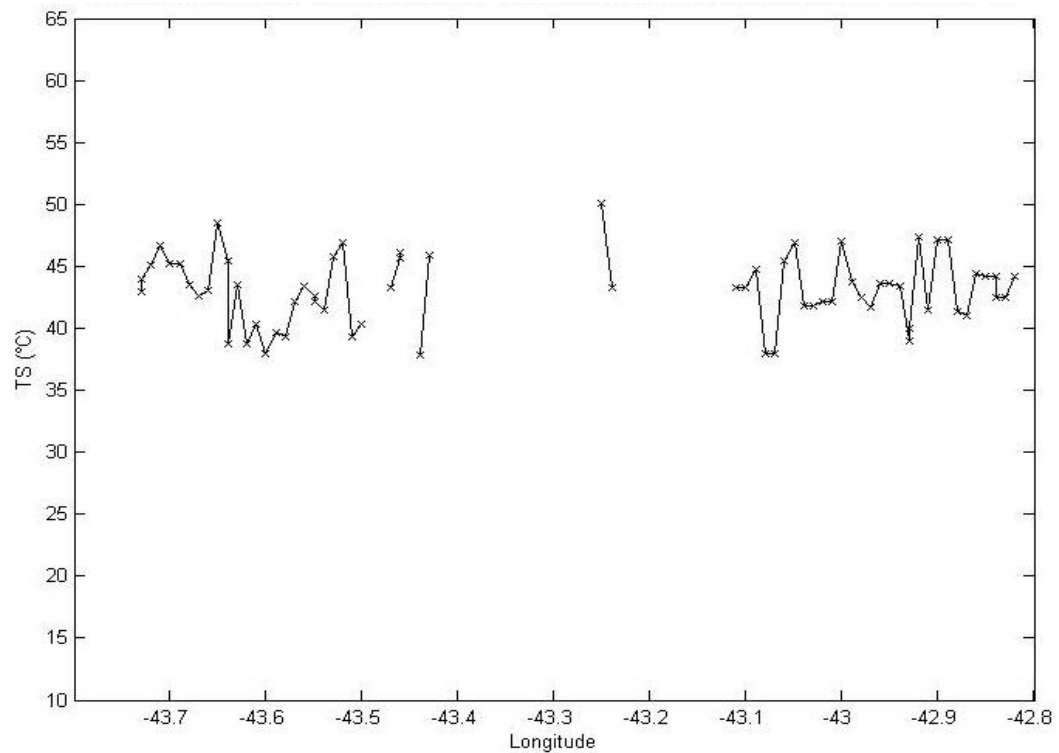


Figura 5.4.15: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).

As figuras 5.4.16 e 5.4.17 representam o perfil térmico da composição dos maiores TS para, respectivamente, os períodos de dados dos satélites NOAA – 14 e 18. A figura 5.4.18 é referente ao perfil térmico da composição dos maiores TS para todo o período de dados.

A análise destas 3 figuras mostra que entre as longitudes de 43,2°W a 43,4°W ocorrem os valores mais elevados de TS. Nas longitudes próximas a 43,5°W estão os menores valores estimados da temperatura à superfície. Estas duas condições também foram observadas nos perfis térmicos mensais mostrados anteriormente. Nas duas primeiras figuras notam-se elevados picos de TS (próximos a 55°C) e uma amplitude térmica com valores muito próximos (em torno de 15°C).

Nestes perfis térmicos percebe-se uma grande diferença entre os mais elevados valores da composição dos maiores TS e os mais reduzidos valores desta composição. Esta diferença varia entre, aproximadamente, 10°C (nos meses de outono/inverno) e de 20°C (nos meses de primavera/verão). A amplitude térmica observada pelo *transector* confeccionado na latitude de 22,85°S é característica do efeito da ilha de calor urbana, onde se tem altos valores de temperatura nas áreas mais urbanizadas (com NDVI mais baixos, como ocorre na área compreendida entre as longitudes de 43,2°W a 43,4°W) e temperaturas mais baixas nas áreas mais verdes (NDVI mais alto, como ocorre na área do maciço de Gericinó).

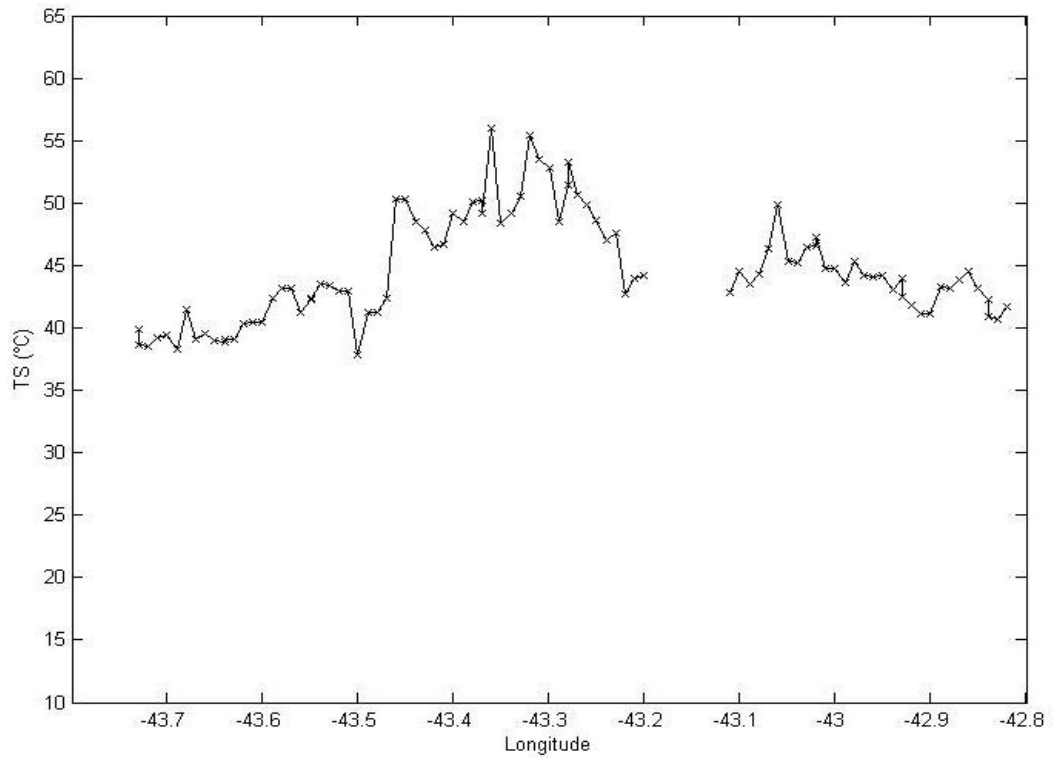


Figura 5.4.16: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S no NOAA – 14.

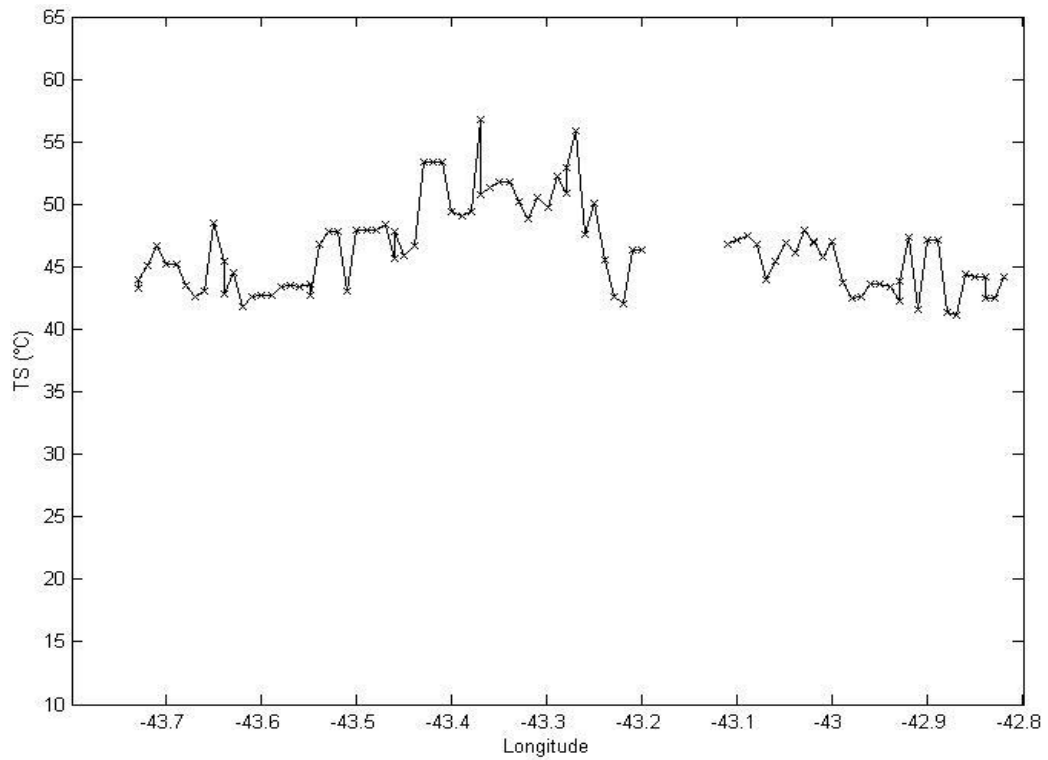


Figura 5.4.17: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S no NOAA – 18.

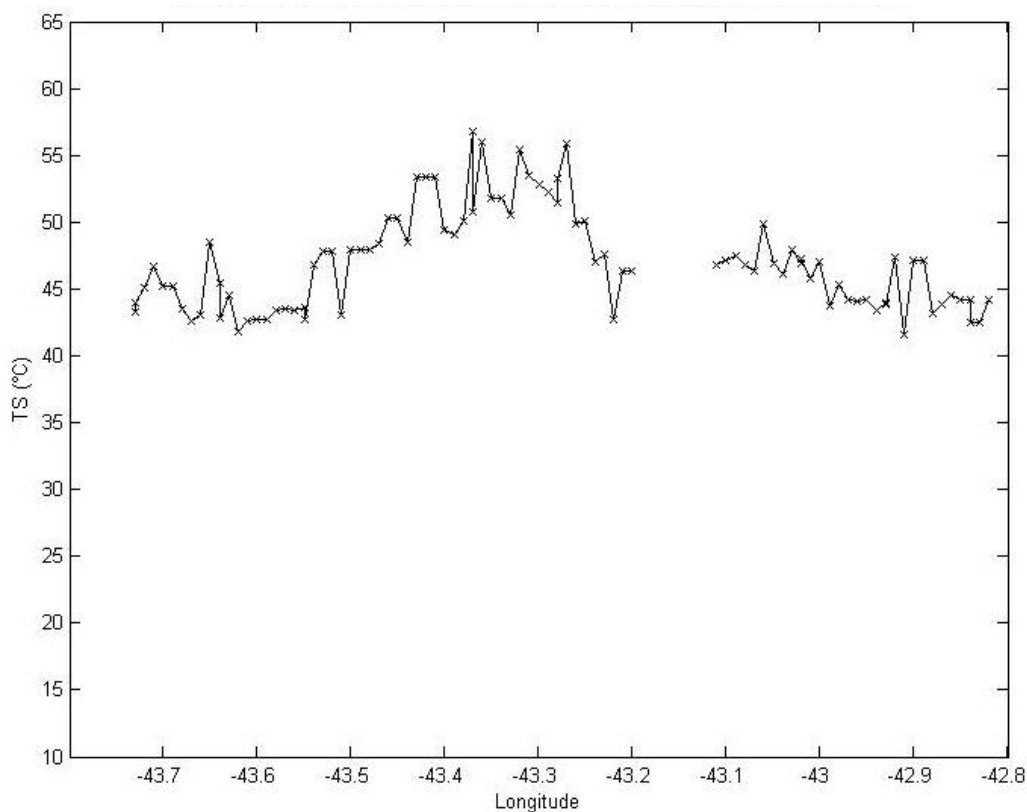


Figura 5.4.18: Perfil Térmico da Composição dos Maiores TS na latitude 22,85°S nos dois conjuntos de dados.

5.5 – Coeficiente de Correlação entre NDVI e TS

As figuras 5.5.1 até 5.5.14 representam o diagrama de dispersão para os meses de dados contidos na tabela 5.1. As figuras 5.5.15 e 5.5.16 são os diagramas de dispersão para cada um dos satélites utilizados e, por último, a figura 5.5.17 refere-se para todo período de dados. Foram inseridos retângulos nestas figuras que mostram à equação que melhor representa a relação existente entre as variáveis consideradas, os coeficientes de correlação (R) e o de determinação (R²). Nos gráficos de dispersão as informações do índice de vegetação NDVI se encontram no eixo x e as das composições dos maiores valores de Ts no eixo y.

A análise dos diagramas de dispersão das figuras 5.5.1 até 5.5.14 mostram que, na sua grande maioria, a reta tem uma inclinação representativa de correlação negativa e isto pode ser observado pelos valores do coeficiente de correlação (R). Este índice varia de -0,41 a -0,81, o que representa uma forte

correlação negativa entre o NDVI e as estimativas de TS. Isto significa que estes valores tem uma relação inversamente proporcional, ou seja, à medida que um aumenta ou outro tem que diminuir. Esta relação é observada nas áreas da região do leste da cidade do Rio de Janeiro e porções de municípios da Baixada Fluminense (baixos valores do índice de vegetação e elevados valores de TS) e na região dos maciços e da Serra do Mar (valores mais elevados de NDVI e mais reduzidos da estimativa de TS).

Nestes meses também percebe-se que o coeficiente de determinação é mais alto (variando de, aproximadamente, 37% até 70%). Isto significa que a variação de TS pode ser explicada entre 37% a 70% pela variação do NDVI.

Nos meses de primavera/verão nota-se que os coeficientes de correlação e determinação são menores, com destaque para os meses de fevereiro de 2009 e 2010. Nestes meses R tem valores próximos a zero ou positivos, indicando baixa correlação e correlação positiva entre NDVI e TS e R² menor que 10%. Ainda observa-se que a reta representativa do modelo matemático que melhor descreve a relação entre estas variáveis é praticamente paralela ao eixo horizontal. A explicação para isto é o aumento da superfície vegetada nos meses de primavera/verão e elevação das TS ocorrem simultaneamente. Isto deve-se aos efeitos de macro-escala (efeitos meteorológicos) se sobreporem ao efeito do uso do solo.

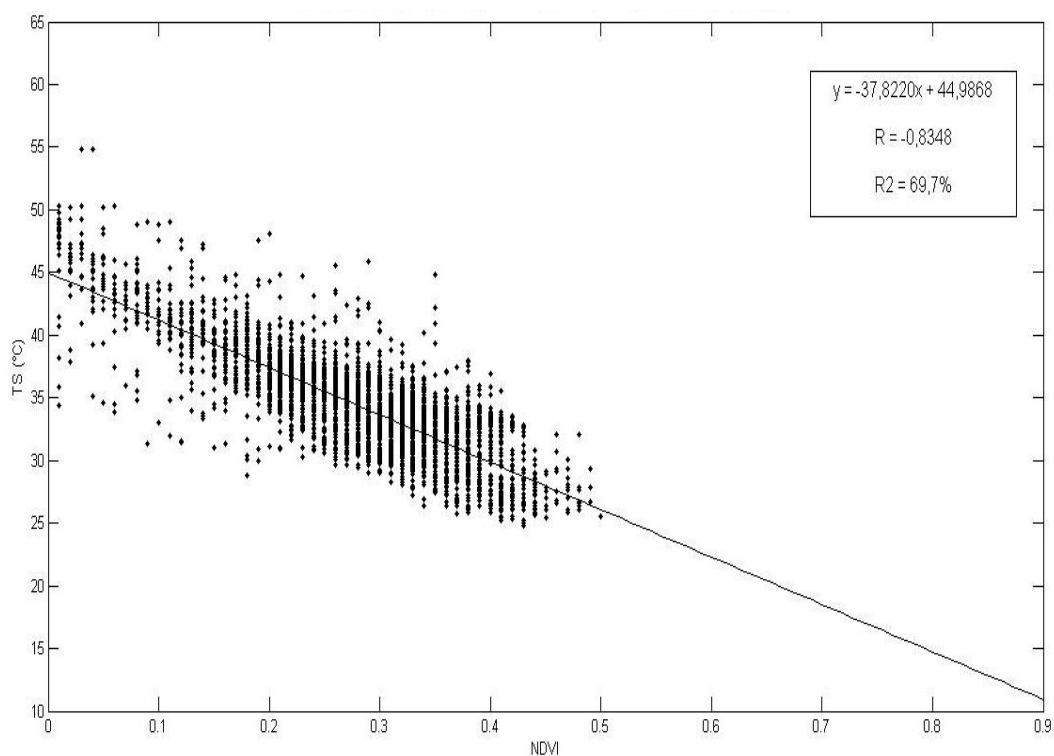


Figura 5.5.1: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Outubro/2005 (NOAA – 14).

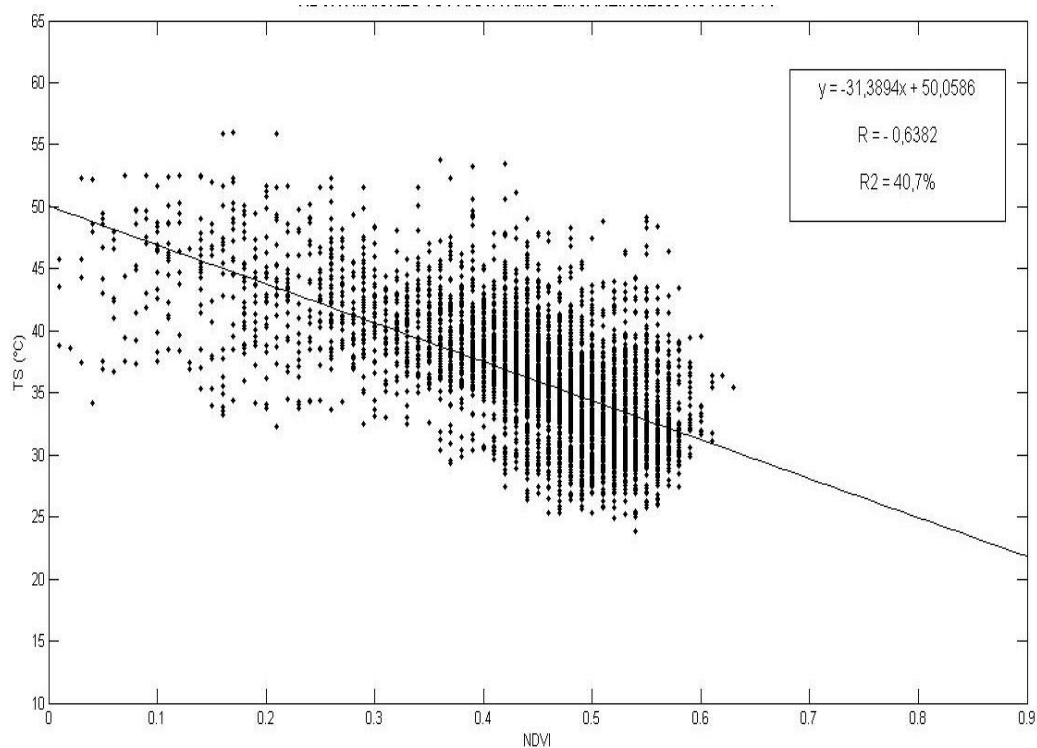


Figura 5.5.2: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Janeiro/2006 (NOAA – 14).

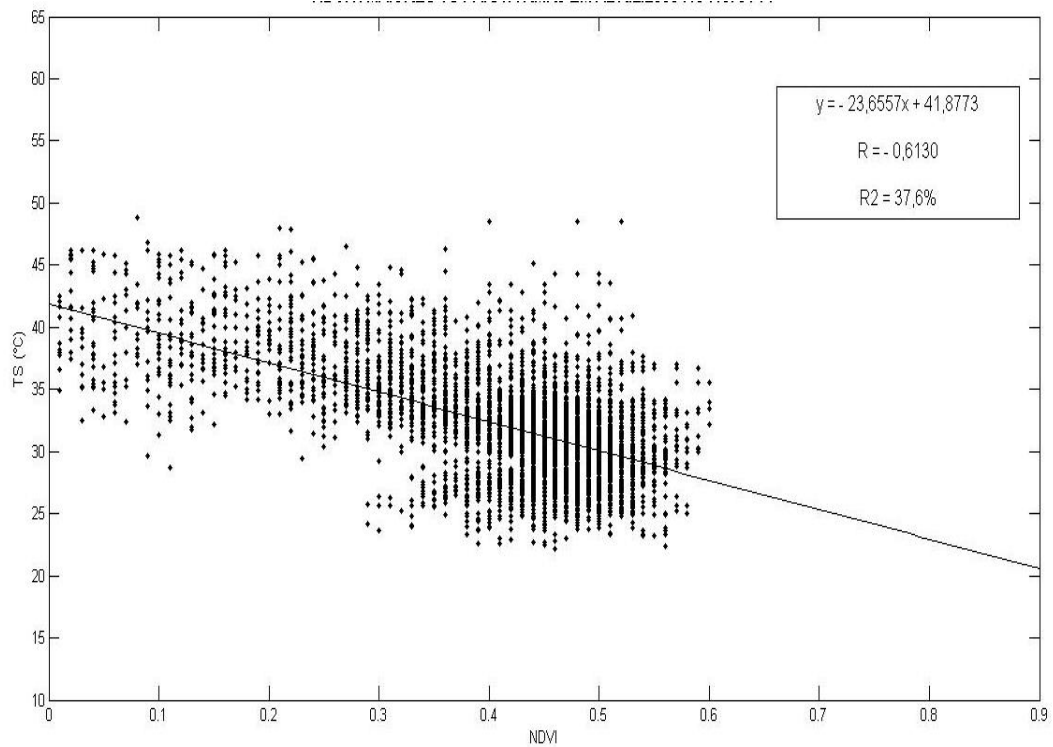


Figura 5.5.3: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Abril/2006 (NOAA – 14).

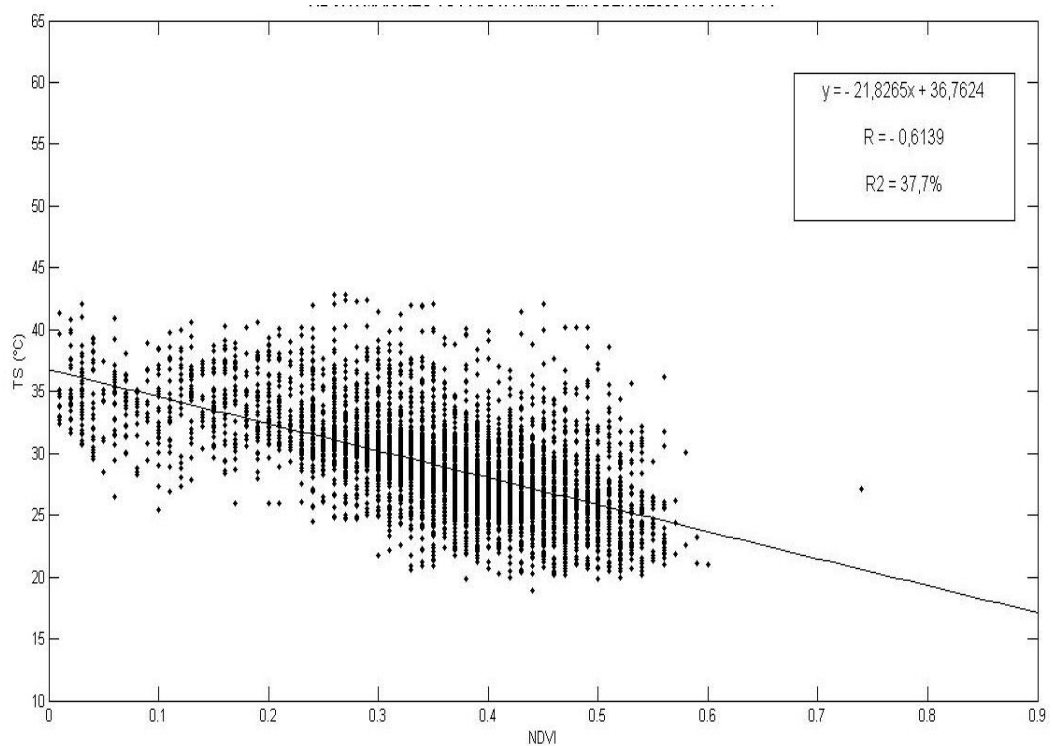


Figura 5.5.4: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Julho/2006 (NOAA – 14).

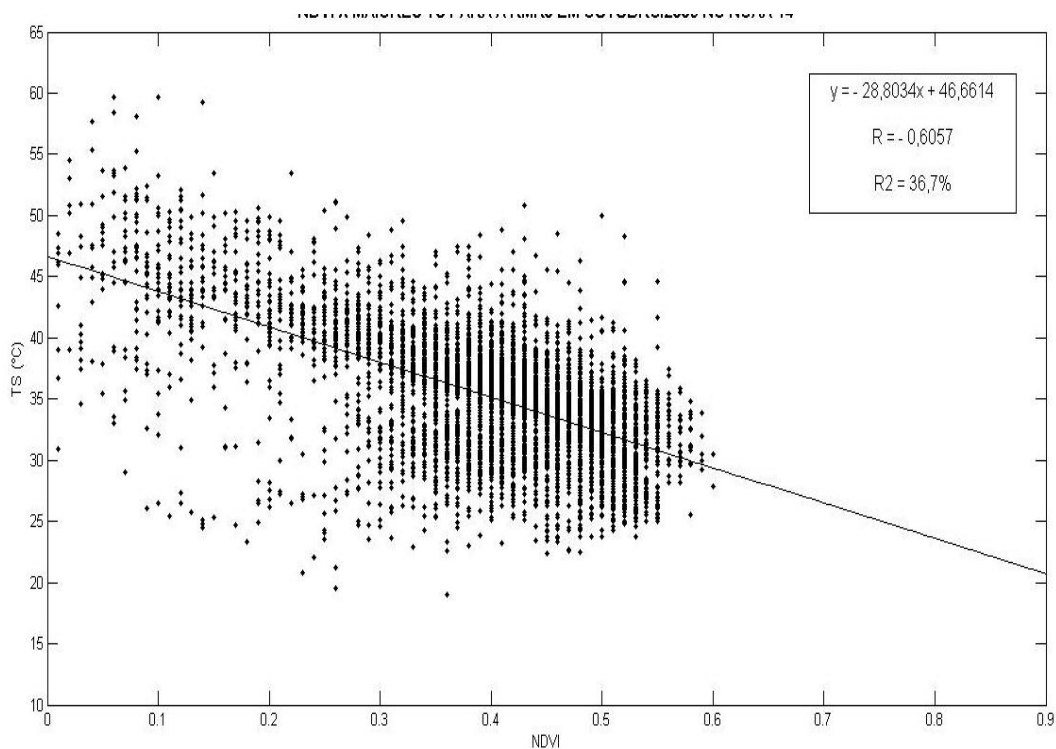


Figura 5.5.5: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Outubro/2006 (NOAA – 14).

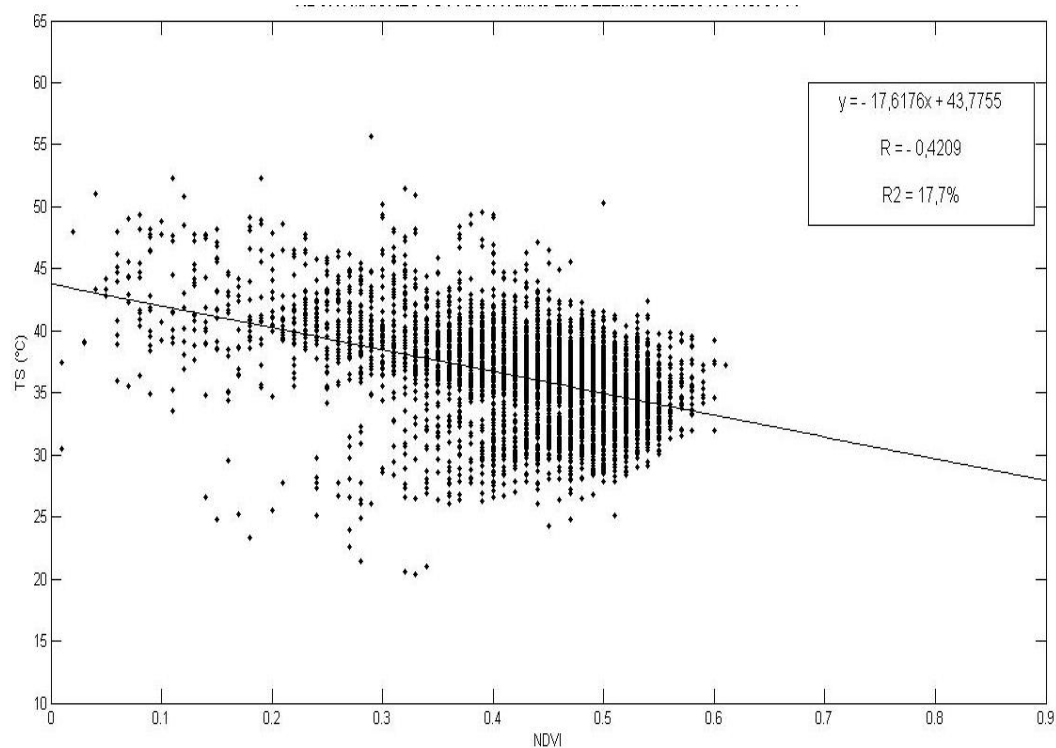


Figura 5.5.6: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Dezembro/2006 (NOAA – 14).

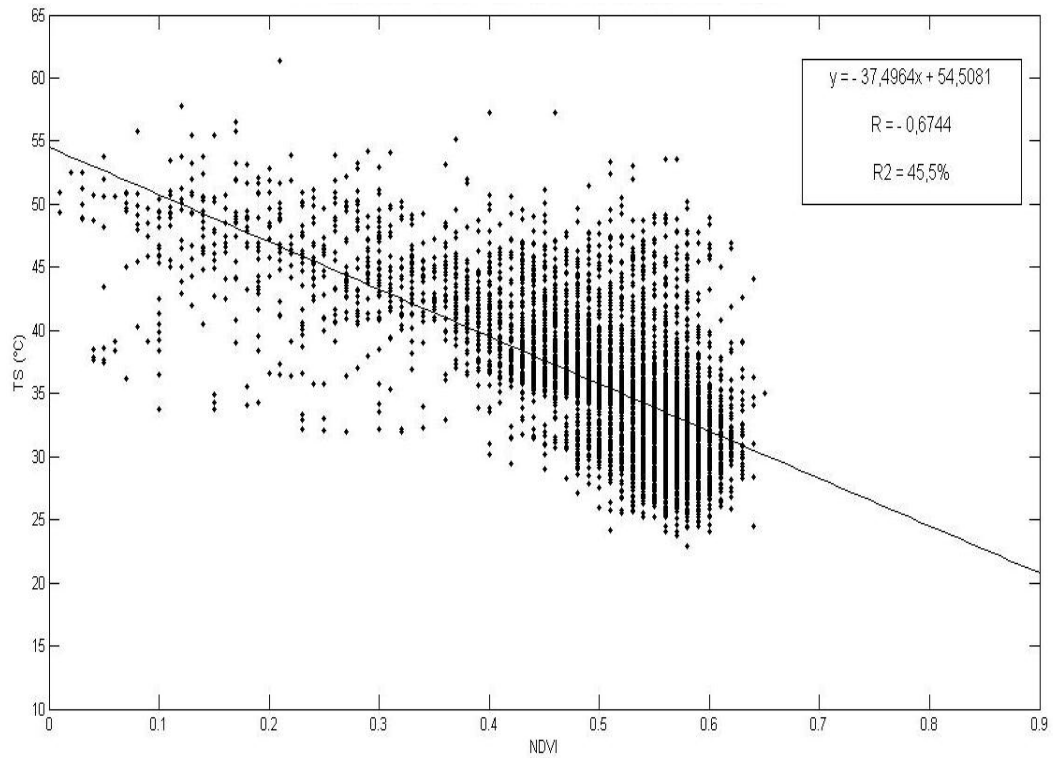


Figura 5.5.7: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Fevereiro/2007 (NOAA – 14).

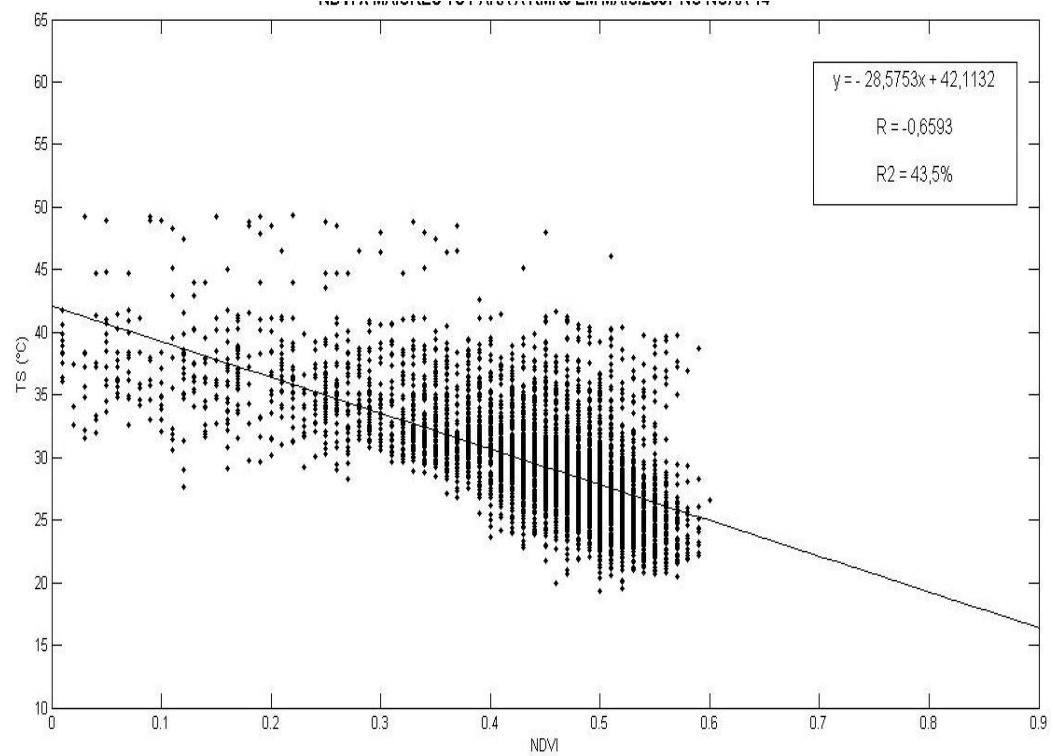


Figura 5.5.8: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Maio/2007 (NOAA – 14).

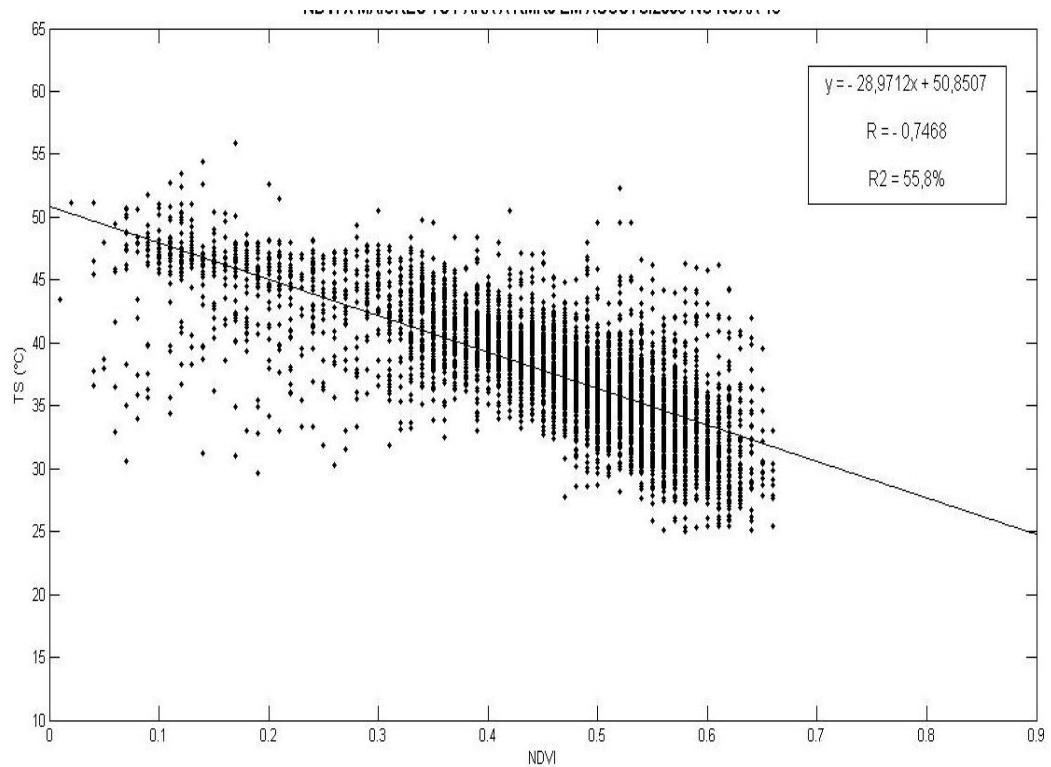


Figura 5.5.9: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Agosto/2008 (NOAA – 18).

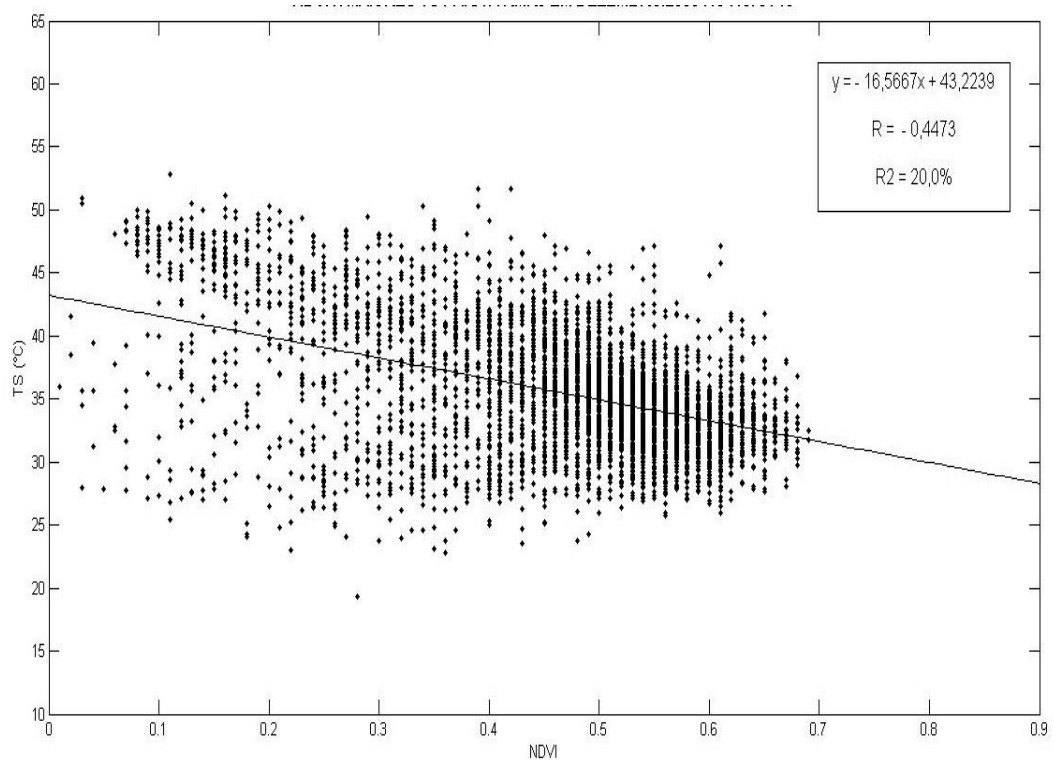


Figura 5.5.10: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Dezembro/2008 (NOAA – 18).

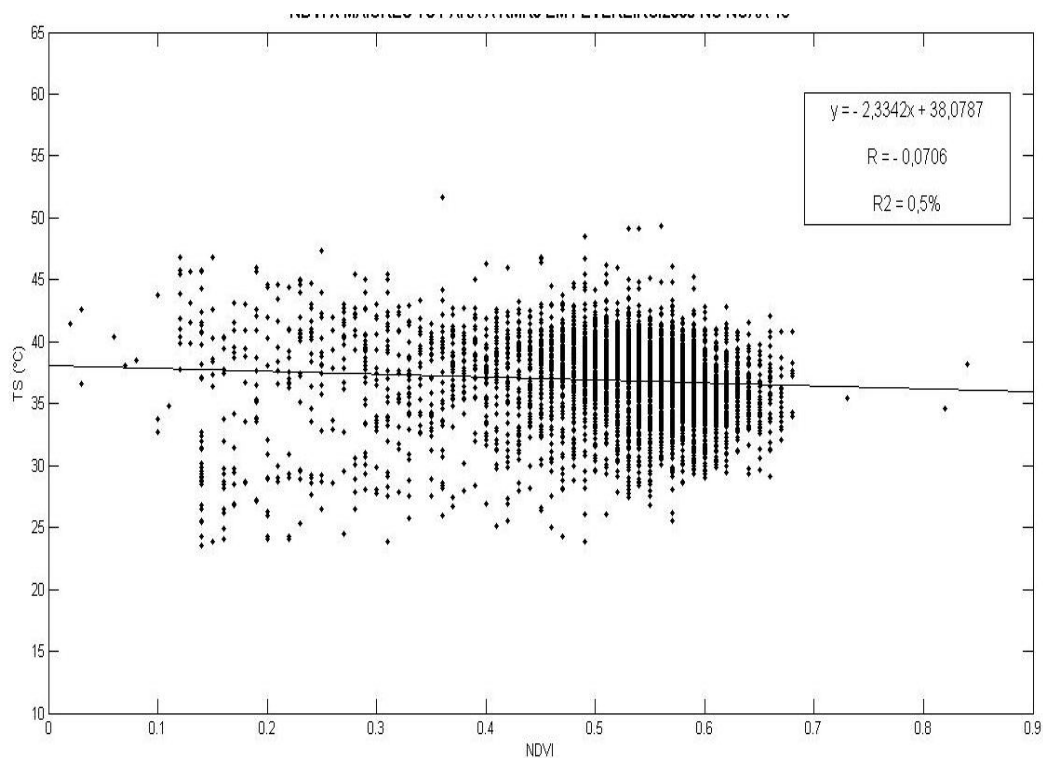


Figura 5.5.11: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Fevereiro/2009 (NOAA – 18).

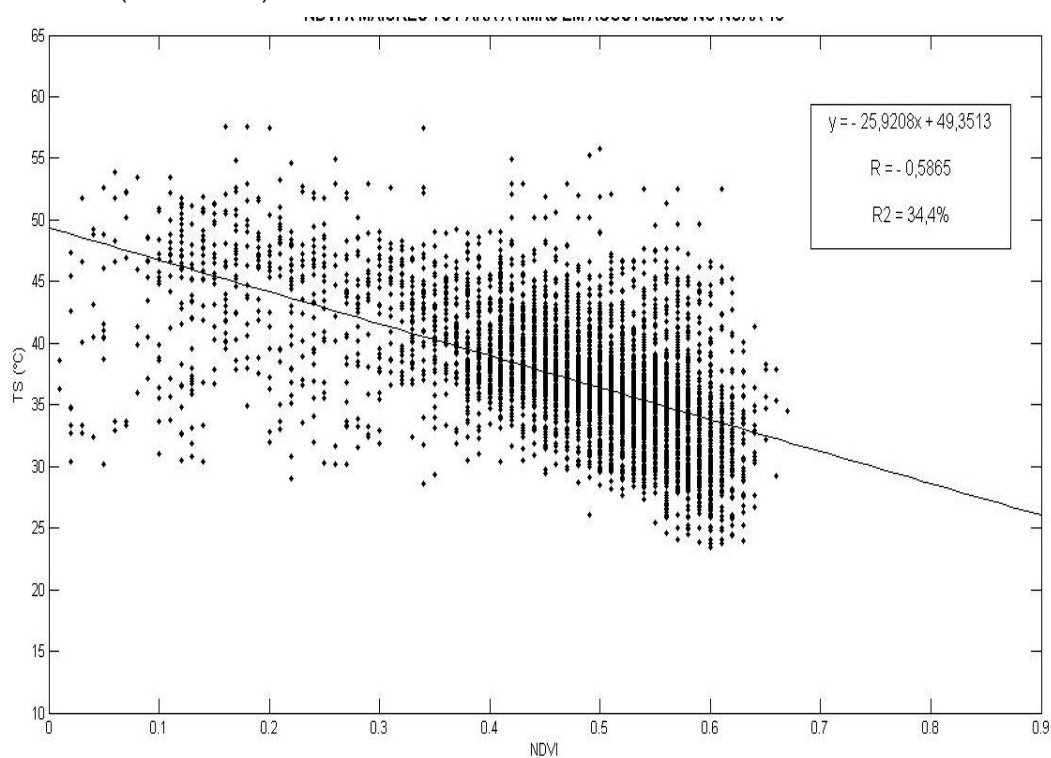


Figura 5.5.12: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Agosto/2009 (NOAA – 18).

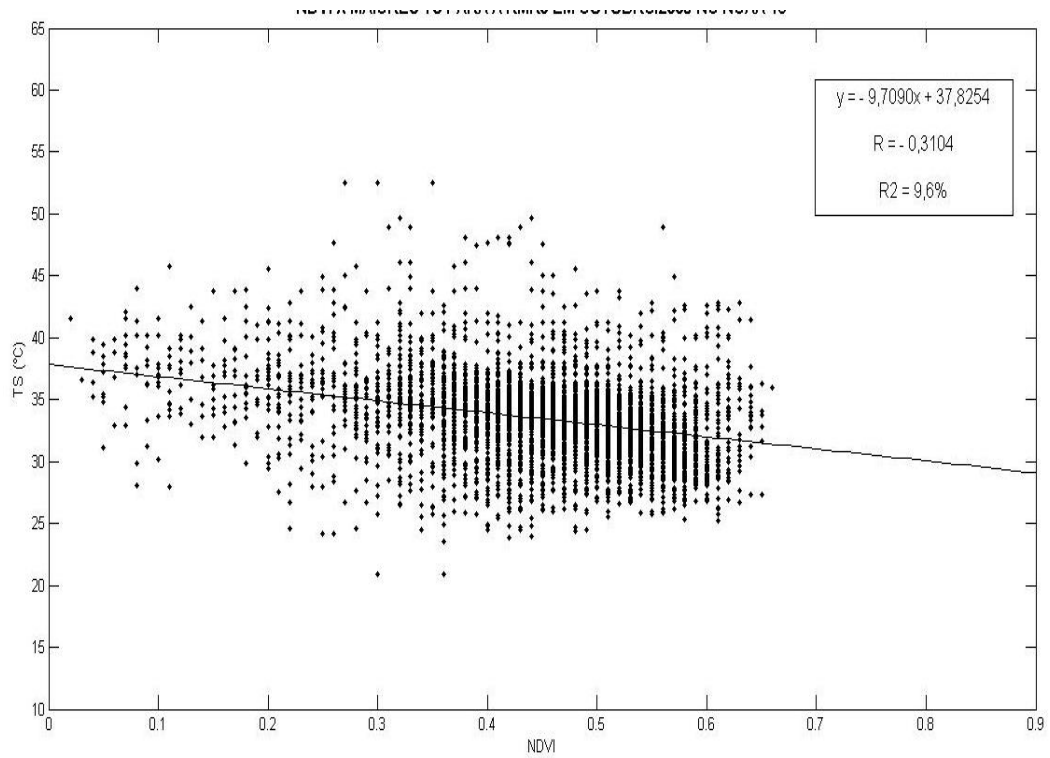


Figura 5.5.13: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Outubro/2009 (NOAA – 18).

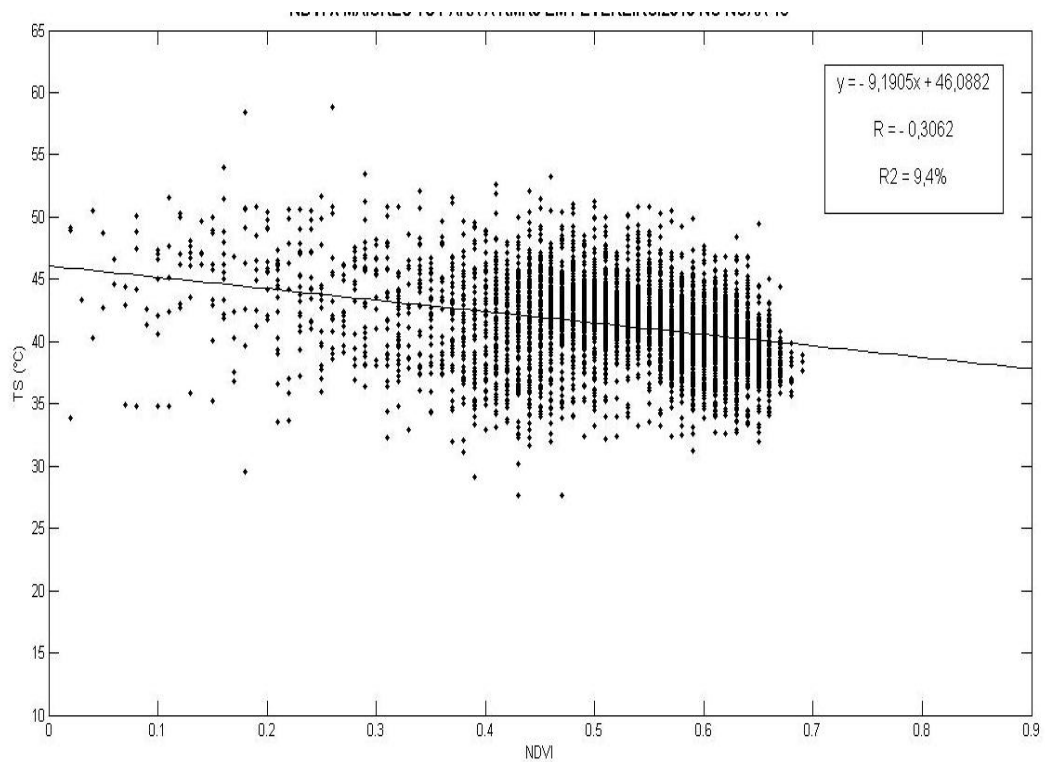


Figura 5.5.14: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS em Fevereiro/2010 (NOAA – 18).

As figuras 5.5.15 até 5.5.17 representam o diagrama de dispersão entre o NDVI e a composição dos maiores valores de TS, respectivamente, para NOAA – 14, NOAA – 18 e para todo o período de dados. Nestas figuras, assim como na maioria das anteriores para o diagrama de dispersão, é vista a relação inversa entre o índice de vegetação e a estimativa de TS com bons valores de coeficientes de correlação e determinação.

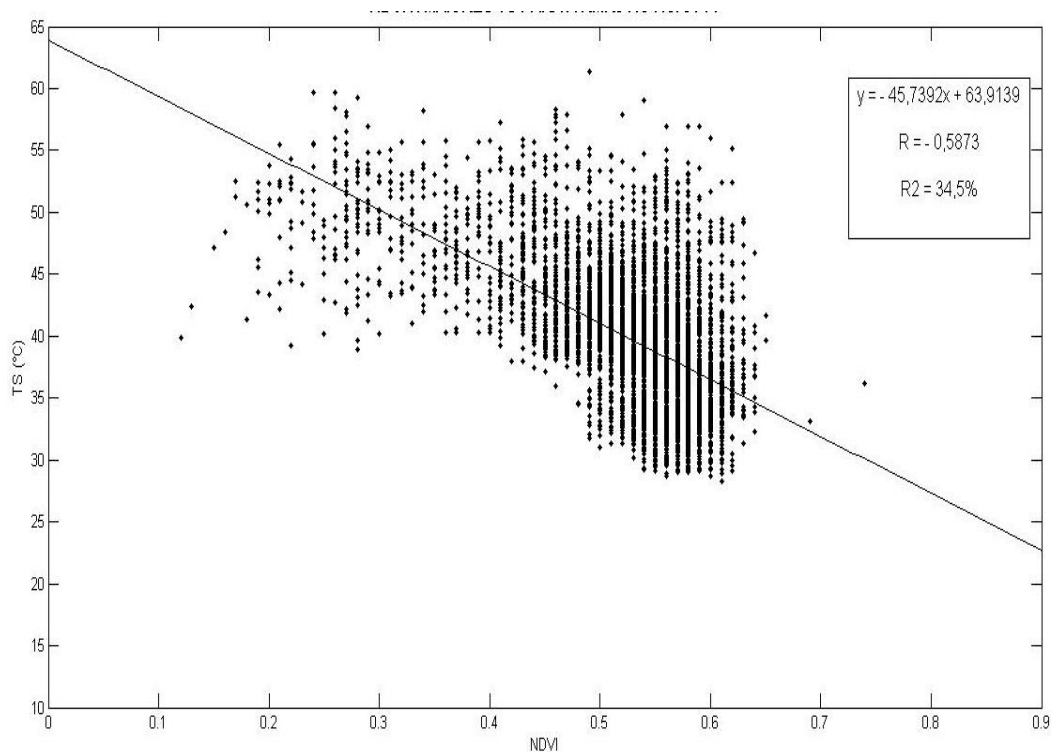


Figura 5.5.15: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS no NOAA – 14.

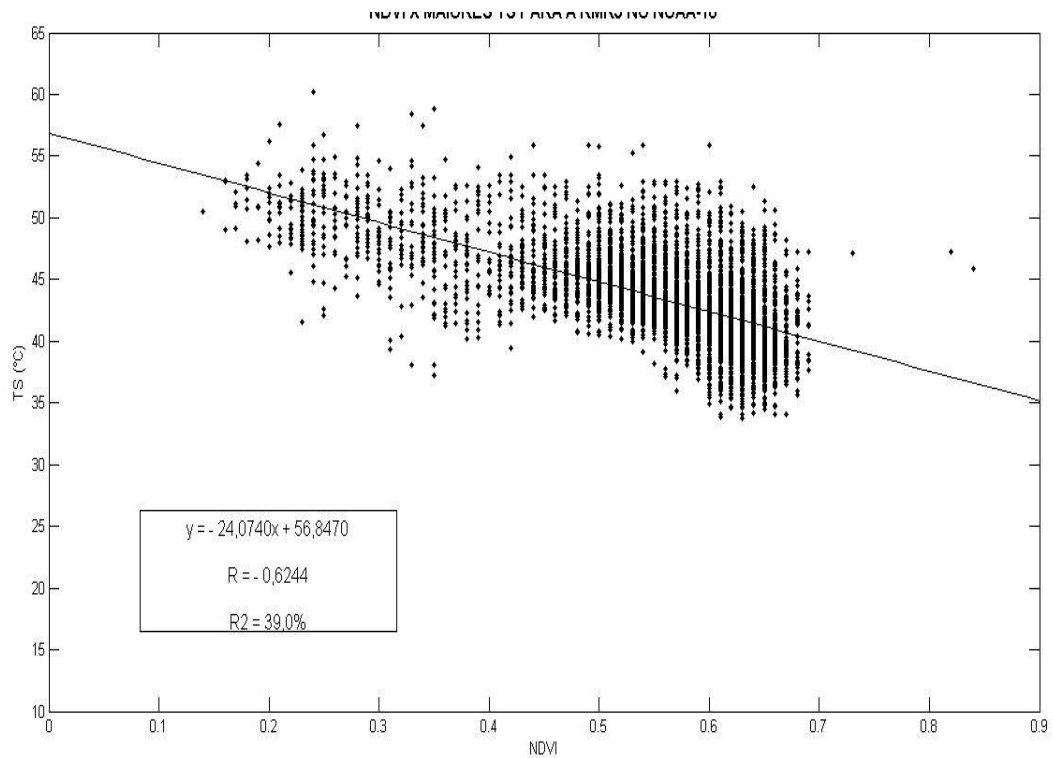


Figura 5.5.16: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS no NOAA – 18.

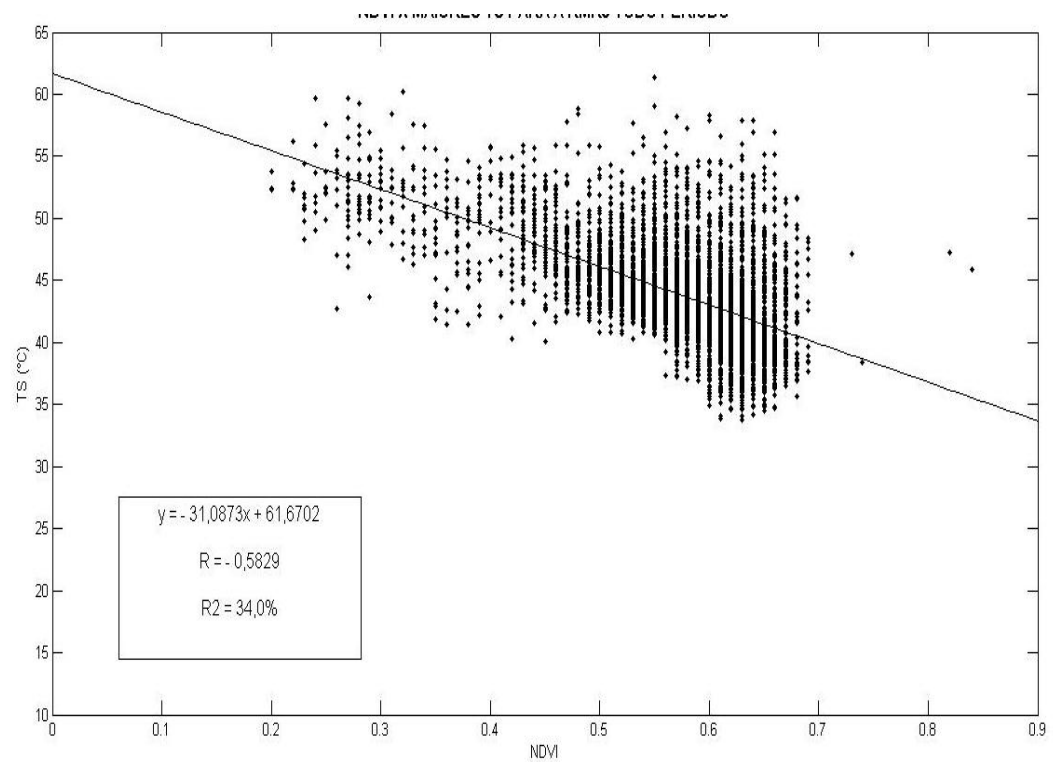


Figura 5.5.17: Diagrama de Dispersão entre o NDVI e a Composição dos Maiores TS nos dois conjuntos de dados.

As figuras 5.5.18 e 5.5.19 mostram a evolução temporal do coeficiente de correlação entre o NDVI e os maiores valores de TS para os períodos de dados, respectivamente, dos satélites NOAA-14 e 18. O eixo horizontal representa a evolução do tempo e o eixo vertical os valores do coeficiente de correlação. No segundo gráfico há uma interrupção na evolução temporal dos coeficientes em abril/2009 devido a ausência de dados.

A análise dos gráficos mostra que a correlação entre as variáveis, em grande parte, é igual e/ou superior a -0,5 (de outubro/2005 até outubro/2006 e de fevereiro/2007 a maio/2007 – na primeira figura – e entre maio/2009 a setembro/2009 – na outra figura), indicando uma boa correlação entre NDVI e TS e a relação inversa entre essas duas variáveis.

Entretanto, nos meses de primavera/verão os coeficientes de correlação são baixos (inferiores a -0,4) e em alguns meses chegando a ser positivos (como em janeiro/2009 – figura 5.5.19), indicando nesses meses que a correlação não é tão boa quanto nos outros meses. Isto ocorre por nesta época do ano o efeito de macro – escala (aumento do regime de precipitação e das temperaturas) acarreta o crescimento das superfícies vegetadas (aumento do NDVI) e o aumento das temperaturas (característico destas estações do ano) ocasiona a elevação das TS.

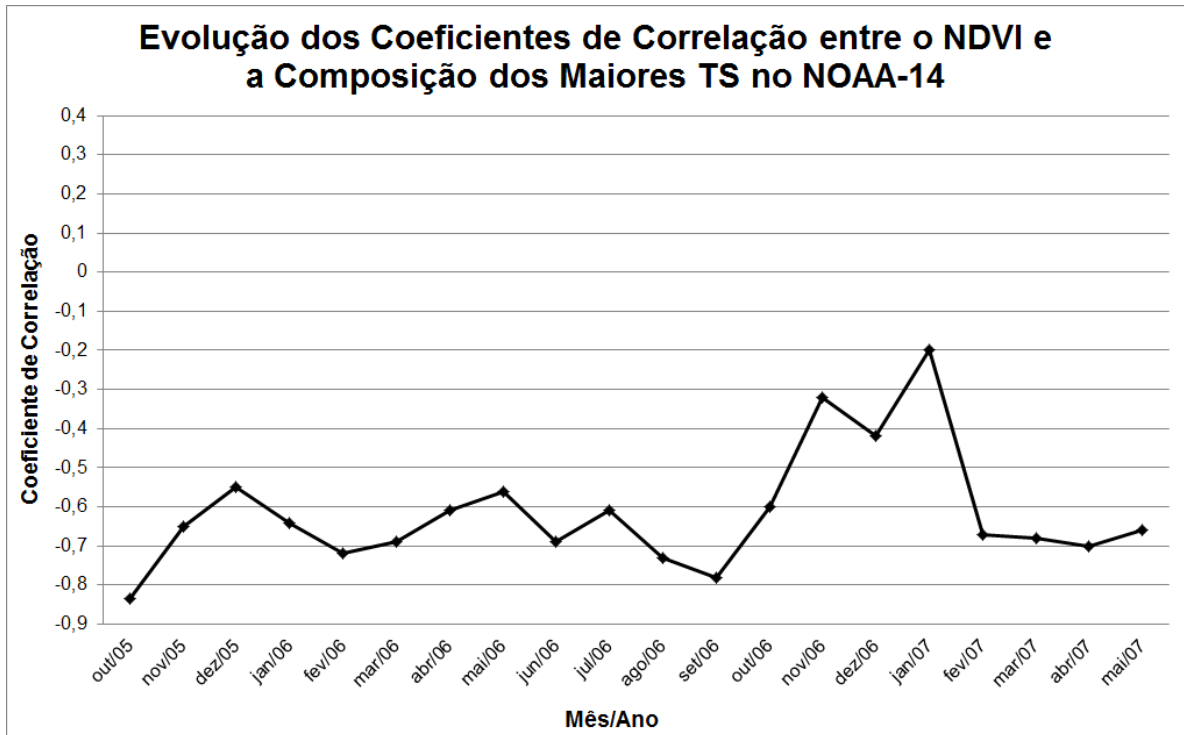


Figura 5.5.18: Evolução temporal dos coeficientes de Correlação entre NDVI e TS para o NOAA – 14.

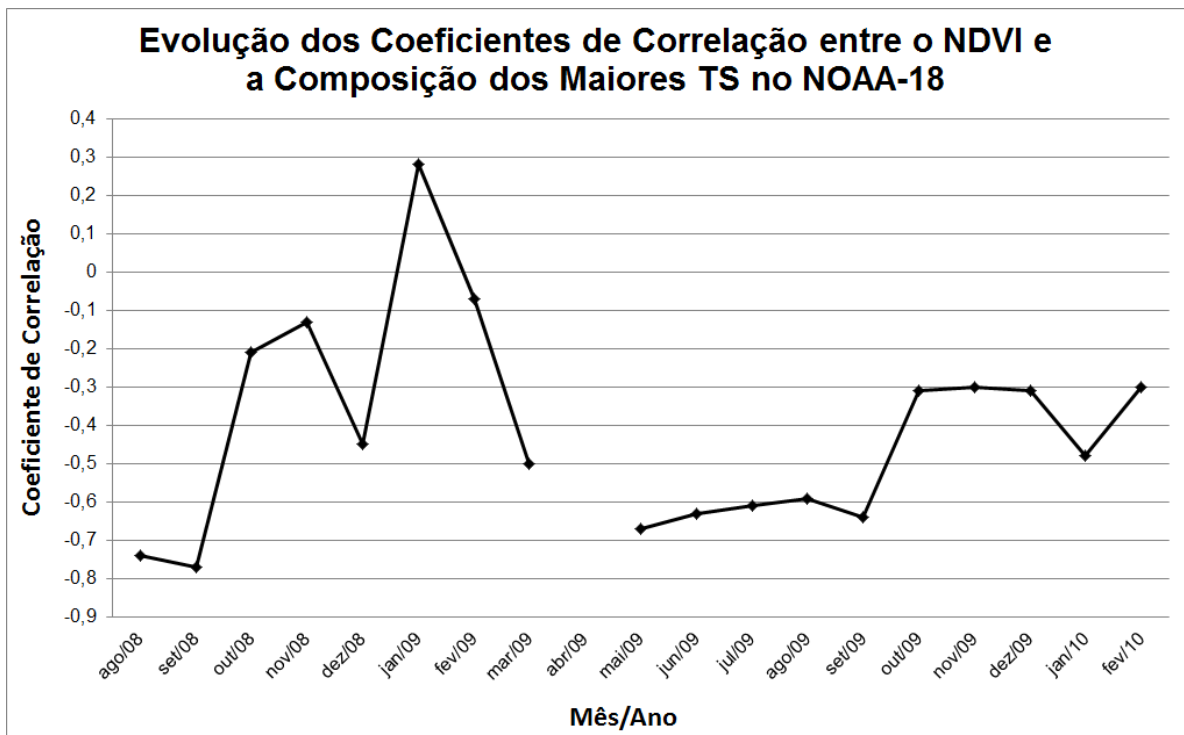


Figura 5.5.19: Evolução temporal dos coeficientes de Correlação entre NDVI e TS para o NOAA – 18.

A tabela 5.5.1 exibe o desvio-padrão de TS para os cada mês apresentados, para cada conjunto de dados e para o período total de dados. Como o desvio-padrão foi calculado em relação as composições dos maiores valores de TS, tem-se que este parâmetro estatístico informa a variabilidade espacial de TS. Observa-se que não ocorre maior ou menor variabilidade espacial de TS nos períodos de outono/inverno e primavera/verão. Neste período ocorrem tanto os valores mais altos (fevereiro/2008) com os menores (fevereiro/2010).

Tabela 5.5.1: Desvio Padrão de TS para os meses, consolidado para cada satélite e em todo o período de dados.

Mês/Ano	Desvio Padrão de TS
Outubro/2005	4,164
Janeiro/2006	4,801
Abril/2006	4,055
Julho/2006	3,795
Outubro/2006	5,178
Dezembro/2006	3,923
Fevereiro/2007	5,806
Maio/2007	4,270
Agosto/2008	4,672
Dezembro/2008	4,611
Fevereiro/2009	3,263
Agosto/2009	4,947
Outubro/2009	3,273
Fevereiro/2010	3,244
NOAA – 14	5,62
NOAA – 18	3,691
Todo Período	4,08

6 – CONCLUSÕES

Nesta seção são apresentadas as conclusões obtidas a partir das análises e discussões realizadas na seção anterior.

Pode-se observar que a técnica CMV mostrou-se bastante útil na elaboração das figuras do NDVI e da composição dos maiores valores de TS, pois associado com as técnicas de mascaramento de nuvens reduz a contaminação da nebulosidade.

Foi percebido áreas com altos valores do NDVI ocorrendo na porção norte da área de estudo (a Serra do Mar), nos três maciços da cidade do Rio de Janeiro e na série de maciços próximos ao litoral da cidade de Niterói. Nestas áreas se observou valores do NDVI acima de 0,5. Estes altos valores caracterizam regiões vegetadas.

Também notou-se a existência de uma área (entre as latitudes de 22,7°S a 23,0°S e longitudes de 43,4°W até, aproximadamente, 43,2°W) com valores bastante reduzidos do NDVI. Esta região engloba partes de alguns municípios da Baixada Fluminense e de alguns bairros da cidade do Rio de Janeiro. Também observou-se uma expansão de baixos valores do NDVI na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro e entre Niterói e São Gonçalo. Estes baixos valores de NDVI indicam que essa área reflete quase a mesma quantidade na banda do visível e infravermelho. Isto é característico de um local com pouca ou quase nenhuma vegetação, ou seja, uma área intensamente urbanizada da RMRJ.

A análise do NDVI ainda possibilitou a verificação da sua sazonalidade, com os mais baixos valores nos meses de outono/inverno e os mais elevados no período de primavera/verão nas áreas compreendidas entre os maciços da cidade do Rio de Janeiro (denominada de Zona Oeste), entre os municípios de Niterói e São Gonçalo (na porção oeste, próximo a Baía de Guanabara), além dos próprios maciços e da Serra do Mar. Nas primeiras áreas observou-se maior amplitude do NDVI por se tratarem de áreas com urbanização crescente e a presença de áreas vegetadas. Nas áreas mais verdes (os maciços e a Serra do Mar) esta amplitude no índice de vegetação foi menor. A sazonalidade se explica pela diminuição da área foliar que ocorre nos meses de outono/inverno, acarretando na redução do NDVI.

Nos meses de primavera/verão a vegetação floresce e aumenta a área foliar, fazendo com que ocorra elevação do NDVI.

Na região com os mais baixos valores do índice de vegetação não é possível visualizar essa sazonalidade, pois esta área se caracteriza pela quase total ausência de áreas vegetadas, assim mantendo os valores do NDVI abaixo de 0,15.

Em relação às emissividades dos canais 4 e 5 foi verificado que as áreas identificadas pelo NDVI como tendo valores elevados representavam os maiores valores das emissividades e aquelas áreas com baixos valores do índice de vegetação como tendo menores emissividades. Isto já era esperado, pois pela literatura temos que superfícies vegetadas têm altas emissividades (variando de 0,96 a 0,98), enquanto que a área com pouca ou nenhuma vegetação tem menores valores de emissividades. A dependência do NDVI no cálculo das emissividades pode contribuir com a propagação de algum erro. Assim, medidas *in situ* das emissividades tornam-se necessárias para comparação entre o observado e o estimado.

Em relação à estimativa da temperatura à superfície foram apresentadas as composições dos maiores valores de TS para os períodos de dados dos satélites NOAA-14 e 18. Nestas figuras observou-se que a área entre as latitudes de 22,7°S a 23,0°S e longitudes de 43,4°W até 43,2°W a ocorrência dos mais elevados valores da estimativa de temperatura que podem ultrapassar os 54°C (por vezes atingindo valores em torno de 63°C) nos meses de primavera/verão e entre 39°C a 42°C no outono/inverno. Esta área é a que apresenta os menores valores de NDVI. Estes baixos valores do índice de vegetação podem caracterizar a área como bastante urbanizada e, assim, devido às propriedades de absorção/emissão dos diferentes tipos de materiais utilizados no processo de substituição da vegetação por prédios, ruas, entre outras construções, acabam por absorver e reter mais o calor do que em áreas vegetadas, resultando em um maior aquecimento.

Os resultados encontrados através dos dados do satélite NOAA – 14 indicam um padrão de Ilha de Calor distintamente diferente do que é observado em áreas de latitudes médias. Nestas áreas o fenômeno ocorre com maior intensidade durante a noite enquanto que na área do estudo elevados valores da estimativa de TS já podem ser encontrados no período da manhã. Marques Filho (2009) observou este mesmo padrão.

Nas áreas dos maciços das cidades do Rio de Janeiro e Niterói e a Serra do Mar foi notado os valores mais reduzidos de TS, entretanto as primeiras áreas apresentaram valores ligeiramente superiores a da segunda localidade. Naquela região as temperaturas têm valores entre 33° a 39°C (nos meses de primavera/verão) e de 27°C a, aproximadamente, 30°C (nos meses de outono/inverno), enquanto que na Serra do Mar variam de 24° a 27°C (primavera/verão) e de 18° a 24°C (outono/inverno). Estas 3 áreas são consideradas como localidades com superfície vegetada e, como consequência da presença de vegetação, as temperaturas da superfície são mais reduzidas do que em áreas não vegetadas.

Pode-se perceber que para as figuras da composição dos maiores valores de TS elaboradas com base nos dados do satélite NOAA-14 os valores de temperatura foram um pouco inferiores aos das figuras do NOAA-18. Isto pode estar relacionado ao fato de que as imagens do primeiro satélite serem no início da manhã (por volta de 9 horas) enquanto que na segunda plataforma orbital os horários das imagens eram do início da tarde (entre 13 horas e 14 horas). No início do dia o caminho ótico percorrido pela radiação solar é maior, o que possibilita a sua maior atenuação e menor quantidade de radiação incidente. Já na parte da tarde o caminho ótico é menor, além de a superfície terrestre já ter um significativo aquecimento causado pela incidência da radiação solar. Outro fator que pode contribuir para essa diferença é o fato de os coeficientes utilizados na equação da estimativa de TS do método *split – window* serem diferentes entre os satélites.

Notou-se a sazonalidade da estimativa de TS, sendo as áreas entre os maciços da cidade do Rio de Janeiro e na porção oeste de Niterói e São Gonçalo (próximo a Baía de Guanabara) onde esta é bem evidente, com os mais elevados valores de temperatura sendo estimados na primavera/verão e os mais baixos no outono/inverno. Esta sazonalidade era esperada pela própria variação que ocorre na temperatura decorrente das mudanças de estações do ano.

As diferenças de TS estimadas para as áreas de baixo NDVI (elevados valores de TS) e as de alto índice de vegetação (valores mais reduzidos de temperatura) evidenciam uma das características do fenômeno da ilha de calor urbana: a amplitude térmica entre as áreas consideradas mais vegetadas e as mais urbanizadas. Isto fica mais evidente ao se fazer os *transectors* na latitude de

22,85°S (que atravessa tanto uma área vegetada – o maciço de Gericinó – quanto uma parte da região mais urbanizada). A amplitude térmica varia entre, aproximadamente, 10°C (nos meses de outono/inverno) e de 20°C (nos meses de primavera/verão).

Observou-se a relação inversamente proporcional existente entre o NDVI e TS, onde os maiores valores do índice de vegetação e os menores da estimativa de temperatura ocorrem na mesma área (áreas dos maciços e da Serra do Mar). Já os menores valores do NDVI e os maiores de TS ocorrem na mesma região (entre as latitudes de 22,7°S a 23,0°S e longitudes de 43,4°W até 43,2°W). Esta relação é bem verificada nos meses de outono/inverno com altos coeficientes de correlação e determinação. Entretanto nos meses de verão isto não é verificado, pois o efeito do aquecimento de macro – escala (efeitos meteorológicos) se sobrepõe ao efeito do uso do solo.

O desvio-padrão de TS e o RMS mostraram-se altos, o que significa, para o primeiro parâmetro estatístico, que os valores da estimativa da temperatura à superfície estão relativamente distantes do valor da média calculada entre eles. Como o RMS pode ser calculado a partir do desvio – padrão, temos que estes altos valores do desvio – padrão de TS influenciam de forma direta nos valores de RMS de TS. A obtenção de medidas *in situ* é interessante para se avaliar o quão distantes ou próximos estão os valores estimados de TS em relação à temperatura observada para a área do estudo.

O trabalho visou contribuir para o aumento de informações (como a estimativa de temperatura, cálculo do índice de vegetação NDVI e das emissividades) sobre a ilha de calor para uma das principais áreas brasileiras, a RMRJ. Os resultados encontrados mostraram que o fenômeno é atuante na área do estudo ao longo do ano na porção leste da cidade do Rio de Janeiro e em áreas de municípios da Baixada Fluminense (próximas a esta cidade). No verão o efeito de macro – escala sobrepõe o efeito do uso do solo e é responsável pelos altos valores de TS.

Outra contribuição do trabalho é o cálculo das emissividades e da própria temperatura que podem ter seus resultados aplicados, por exemplo, na estimativa do fluxo de radiação de onda longa emitido pela superfície terrestre.

Uma aplicação do mapeamento de áreas com elevadas temperaturas da superfície pode ser o auxílio aos governantes nas políticas de mitigação dos efeitos da Ilha de Calor Urbana.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.A.: **A Evolução Urbana do Rio de Janeiro**; 2ª Edição; IPLANRIO/ZAHAR; Rio de Janeiro; (1988);

ANDRADE, L.L.; SOUZA, L.H.; SAKURAGI, J.; CASTRO, R.M.: **Estudo de Ilhas de Calor na cidade de São José dos Campos Utilizando o Canal Infravermelho Termal do LANDSAT-5 e o Aerotransportado HSS**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – 2007; (2007);

BALLING, R.C.JR.; CERVENY, R.S.: **Long-Term Associations Between Wind Speeds and the Urban Heat Island of Phoenix, Arizona**. In: Journal of Applied Meteorology, 26 (6): 72 – 716; (1986);

BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J.: **Atmosphere, Weather and Climate**, Routledge, London, 409 pp; (1998);

BRANDÃO, A. M. de P. M.: **Clima Urbano e Enchentes na Cidade do Rio de Janeiro - Impactos Ambientais Urbanos no Brasil** – Antonio José Texeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha (Orgs) – Bertrand Brasil; (2004);

CECH, I.; WEISBERG, R.; HACKER, C.; LANE, R.: **Relative Contribution of Land Uses to the Urban Heat Problem in the Coastal Subtropics**. In: Int. J. Biometer, 20, nº 1, pp 9 – 18; (1976);

CIHLAR, J.; LY, H.; LI, Z.; CHEN, J.; POKRANT, H.; HUANG, F.: **Multitemporal, Multichannel AVHRR Data Sets for Land Biosphere Studies – Artifacts and Corrections**. Remote Sensing of Enviromental, 60, 35 – 57 pp; (1997);

COLL, C.: **Validation of Temperature-Emissivity Separation and Split-Window Methods From TIMS Data and Ground Measurements**. Remote Sensing of Environmental, 85, 232 – 242 pp; (2003);

DEAN, W.: **A Ferro e Fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira** – Companhia das letras – São Paulo; (1996);

DELGADO DE CARVALHO: **História da Cidade do Rio de Janeiro**. Biblioteca Carioca, V.6; (1988);

ERIKSEN, W. – KIMATOLOGISCH: **Okologische Crapekte der umweltbelastung Hannovers Stadtklima und Lutverunreinigung**. In: Hannover und sein Unland; Hannover; (1978);

FARIAS, W. R. G.: **Estudo das características da atividade dos raios na Região Metropolitana de São Paulo**. 2010. 129p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38C8S85>. Acessado em 10 fev. 2011;

FEEMA – **Relatório Anual da Qualidade do ar 2003**; Rio de Janeiro; (2004);

FRAGOSO, J.L.R.: **Homens de Grossa Ventura, Acumulação e Hierarquia na Praça Mercantil do Rio de Janeiro (1790/1930)**. Rio de Janeiro, Arquivo Nacional; (1992);

FRANÇA, G.B.; CRACKNELL, A. P.: **A Simple Cloud Masking Approach Using NOAA-AVHRR Daytime Data for Tropical Areas**. International Journal of Remote Sensing, vol. 16, nº9, 1697 – 1705; (1994);

FRANÇA, J.R.A.: **Télédettection Satellitaire des Feux de Végétation en Région Intertropicale- Application à l'Estimation des Flux des Composés en**

Trace Émis dans l'Atmosphère. Tese de Doutorado da Universidade Paul Sabatier, 1749, Toulouse, França, 215pp.; (1994);

FRANÇA, J.R.A , J. –M. Brustet and J. Fontan: **Multispectral Remote Sensing of Biomass Burning in West Africa.** J. Atmosph. Chemistry, vol. 22, 81-110; (1996);

FRANÇA, J.R.A.: **Meteorologia Urbana e Sensoriamento Remoto: Estudo das Ilhas de Calor e Impacto no Microclima da Região Metropolitana da Cidade do Rio de Janeiro.** Projeto de Pesquisa; (2006);

FREITAS, E.D.; SILVA DIAS, P.L.: **O Efeito da Ilha de Calor Sobre os Fluxos de Calor Através da Utilização do Modelo RAMS.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, Rio de Janeiro, 2000. Anais, Rio de Janeiro, SBMET, p. 3566 – 3574; (2000);

FREITAS, E.D.; SILVA DIAS, P.L.: **A Importância das Fontes Antropogênicas de Calor na Modelagem Numérica dos Efeitos de Ilha de Calor Urbana.** In: Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 3, Santa Maria, 2003. Revista Ciência e Natura, Santa Maria, UFSM, p. 227 – 231; (2003);

FREITAS, E.D.; SILVA DIAS, P.L.: **Alguns Efeitos de Áreas Urbanas na Geração de uma Ilha de Calor.** Revista Brasileira de Meteorologia, V.20, nº3,355 – 366, 2005; (2005);

FUJUI; E.: **Increasing Temperature Due to the Expansion of Urban Areas in Japan;** Tokio Journal of Climatology, 1, nº1, Tóquio; (1964);

GARCÍA, M.C.M.: **Climatologia Urbana.** Barcelona. Edicions de la Universitat de Barcelona, 1999, 71 p; (1999);

GRAÇA FILHO, A. de A.: **A Princesa do Oeste e o Mito da Decadência de Minas Gerais.** São João Del Rei, 1831 – 1888; (2002);

GRIMMOND, C.S.B.; OKE, T.R.: **An Evapotranspiration – Interception Model for Urban Areas**. Water Resources Research, 27 (7), 1739 – 1755; (1991);

GRIMMOND, C.S.B; OKE, T.R.: **Turbulent Heat Fluxes in Urban Areas: Observations and a Local-Scale Urban Meteorological Parameterization Scheme (LUMPS)**, J. Appl. Meteor., vol. 41, n°7, 792 – 810; (2002);

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acessado em: 28/06/2011;

ICHINOSE, T.; SHIMODOZONO, K.; HANAKI, K.: **Impact of Anthropogenic Heat on Urban Climate in Tokyo**. Atmos. Environ, 33, 3897 – 3909; (1999);

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Disponível em http://satelite.cptec.inpe.br/ndvi/info_ndvi.jsp. Acessado em: 17/03/2008;

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Disponível em <http://clima1.cptec.inpe.br/>. Acessado em: 18/09/2011;

IPAHB (Instituto de Pesquisas e Análises Históricas e de Ciências Sociais da Baixada Fluminense). Disponível em <http://www.ipahb.com.br>. Acessado em 04/05/2009;

JAUREGUI, O. E.: **La isla de calor em Toluca, México**; Boletín Del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, n° 19, p. 27 – 37; México; (1979);

JOURDAN, P.: **Caracterização do Regime de Ventos Próximo à Superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**; Dissertação de monografia da UFRJ; (2007);

JUNGES, A. H.; ALVES, G.; FONTANA, D. C.: **Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno na região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, INPE, p. 241 – 248.; (2007);

KAKSTEIN, L.S.; SHERIDAN, S.C.; GRAYBEAL, D.Y.: **A Determination of Character and Frequency Changes in air Masses Using a Spatial Synoptic Classification.** Int. Journal of Climatology, 18, 1223 – 1236; (1998);

KARL, T.R.; DIAZ, H. F.; KIKLA, G.: **Urbanization: Its Detection and Effect in the United States Climate Record.** Journal of Climate, 1,1099 – 1123; (1988);

KATSOULIS, B.D.; THEOHARATOS, G.A.: **Indications of the Urban Heat Island in Athens, Greece.** Journal of Applied Meteorology, 24 (12); 1296 – 1302; (1985);

KINOUCHI, T.; YOSHITANI, J.: **Simulation of the Urban Heat Island in Tokyo with Future Possible Increases of Anthropogenic Heat, Vegetation Cover and Water Surface.** In: International Symposium on Environmental Hydraulics, 3, Geographical Survey Institute, Japão, 2002, 12; (2001);

KRIEGER, S.: **Estudos Biometeorológicos do Clima Urbano.** Universidade de São Paulo; (2004);

LOMBARDO, M.A.: **Ilha de Calor nas Metrôpoles: O Exemplo de São Paulo.** São Paulo, Ed. HUCITEC, 244 p.; (1985);

LUCENA, A. J.: **O Campo Térmico na Zona Oeste do Rio de Janeiro/RJ: Uma Contribuição ao Estudo do Clima Urbano;** Tese de mestrado da UERJ; (2005);

MAITELLI, G.T.; CHILETO, E.C.; JUNIOR, N.L.A.; CHIETO, R.: **Intensidade da Ilha de Calor em Cuiabá/MT, na Estação Chuvosa**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza/CE, 2004. Anais, Fortaleza, SBMET, p 69 – 82; (2004);

MARQUES FILHO, E.P.; KARAM, H.A.; MIRANDA, A. G., FRANÇA, J.R.A.: **Rio de Janeiro's Tropical Urban Climate**. International Association For Urban Climate. n°52, Junho/2009; (2009);

MONTEIRO, L.A.: **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**, 3^a Ed. Atualizada e Ampliada, Viçosa, Editora UFV; (2005);

MORAES, N. O.; MARTON, E.; PIMENTEL, L.C.G.: **Simulações Numéricas da Formação da Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ – vol. 28 – 2/2005, pág. 487 – 534; (2005);

NACCARATO, K. P.; PINTO, O. JR.; PINTO, I. R. C. A.; CAZETTA, A. FILHO; AMORIM, G. E.: **Lightning characteristics in the southeastern region of Brazil: 1999 – 2000**. In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 7, 2001, Salvador, Brasil;

NACCARATO, K. P.; PINTO, O. JR.; PINTO, I. R. C. A.: **Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil**. Geophysical Research Letters, v 30, n 13, 1675, doi 10.1029/2003GL017496, July 2003;

NACCARATO, K. P.: **Análise das características dos relâmpagos na região Sudeste do Brasil**. 2005. 362p. (INPE-14083-TDI/1069). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos,

2005. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/MTCm13@80/2005/09.28.19.00>.
Acessado em: 20 mar. 2011;

NOAA POD GUIDE, U.S. Department of Commerce – NOAA NESDIS –
NCDC – Satellite Services Branch – FOB3, room G233, E/cc 33, 4700 Suitland
Road, Suitland, MD 20746;

NOVO, E.M.L.M.: **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**;
São Paulo; Edgard Blucher; (1989);

OKE, T.R.: **City Size and the Urban Heat Island**. Conference on Urban
Environment and Second Conference on Biometeorology, American Meteorological
Society, Philadelphia, pp. 144 – 146; (1972);

OKE, T.R.: **Boundary Layer Climates**. Methuen, London, UK; (1978);

OKE, T.R.: **Boundary Layer Climates**, Second Edition. Routledge,
London & New York, 435 pp; (1987);

OLIVEIRA, F.J.G. de: **Mudança no Espaço Metropolitano: Novas
Centralidades e Dinâmicas Espaciais na MetrÓpole**. Rio de Janeiro, DPGA;
(2006);

ORVILLE, R. E.; HUFFINES, G. R.; NIELSEN-GAMMON, J.; ZHANG, R.;
ELY, B.; STEIGER, S.; PHILLIPS, S.; ALLEN, S.; READ, W.: **Enhancement of
cloud-to-ground lightning over Houston, Texas**. Geophysical Research Letters, v.
28, n. 13, p. 2597-2600, July 2001;

PERES, L.F.: **Estimativa do Fluxo Médio Diário de Radiação de Onda
Longa Emitido pela Superfície Terrestre Usando Dados do NOAA-AVHRR**;
Dissertação de monografia da UFRJ; (1999);

PERES, L. F.; SOBRINO, J. A.; LIBONATI, R.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; ROMAGUERA, M.; DACAMARA, C.: **Validation of a Temperature Emissivity Separation Hybrid Method from Airborne Hyperspectral Scanner Data and Ground Measurements in the SEN2FLEX Field Campaigns.** Disponível em: sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/04.20.18.34. Acessado em 10/10/2011;

PONTES, P. P. B.: **Análise Temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana – de – açúcar.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE, p.217 – 224; (2005);

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Disponível em <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>. Acessado em: 08/08/2008;

RIZZI, R.: **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado em Sensoriamento Remoto, INPE; (2005);

ROCHA, A. S.; **(Re)Pensando a Baixada Fluminense em um contexto da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: Sociedade, Território e Representação;**

SAILOR, D.J.; LU, L.; FAN, H.: **Estimating Urban Anthropogenic Heating Profiles and Their Implications for Heat Island Development.** International Conference on Urban Climate, 15, Lodz, Polônia, 2003. Lodz, Sessão Oral 28; (2003);

SOUZA, A. L. F.; MASSAMBANI, O.: **Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana de São Paulo.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza/CE, 2004. Anais, Fortaleza, SBMET, p. 565 – 584; (2004);

SOUZA, M. L.: **O Desafio Metropolitano: Um estudo sobre a problemática sócio-espacial nas metrópoles brasileiras;** Bertrand Brasil; Rio de Janeiro; (2000);

SOUZA, R.A.F.: **Estimativa de emissividade da superfície continental a partir de dados de satélite em microondas**. Dissertação de mestrado em Meteorologia, INPE; (2000);

STULL, R.B.: **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**; Kluwer Academic Publishers; The Netherlands; (1980);

TEZA & BAPTISTA: **Identificação do Fenômeno Ilhas Urbanas de Calor por Meio de Dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): Metrôpoles Brasileiras**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – 2005; (2005);

VOGT, J.: **Characterizing the Spatio-Temporal Variability os Surface Parameters From NOAA-AVHRR Data. A Case Study for Southern Mali**. CEC – IRC – IRSA, 1 –74; (1992);

YOSHIKADO, H.: **Numerical Study of the Daytime Urban Effect and its Interaction eith the Sea Breeze**. J. Appl. Meteor., 31, 1146 – 1164 pp; (1992).

ANEXO A

Nas figuras abaixo encontram-se os mapas de precipitação interpolada para a RMRJ obtidos a partir do *site* do INPE nos meses utilizados neste estudo. Os meses inseridos na primavera/verão são os que registram os mais elevados valores da precipitação acumulada (em mm), enquanto que os meses no outono/inverno são os que registram os menores acumulados de precipitação.

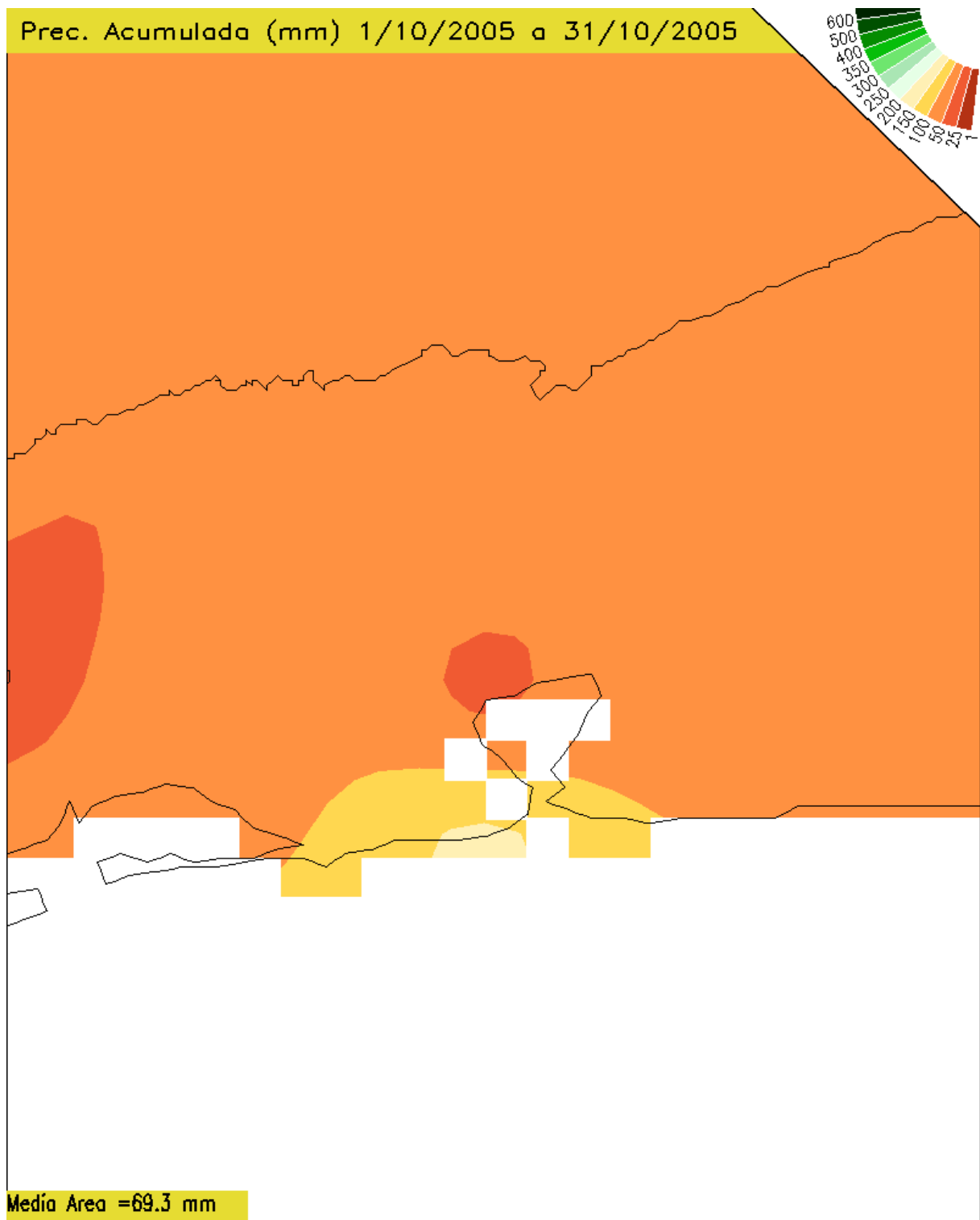


Figura A.1: Mapa da Precipitação interpolada em Outubro/2005. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

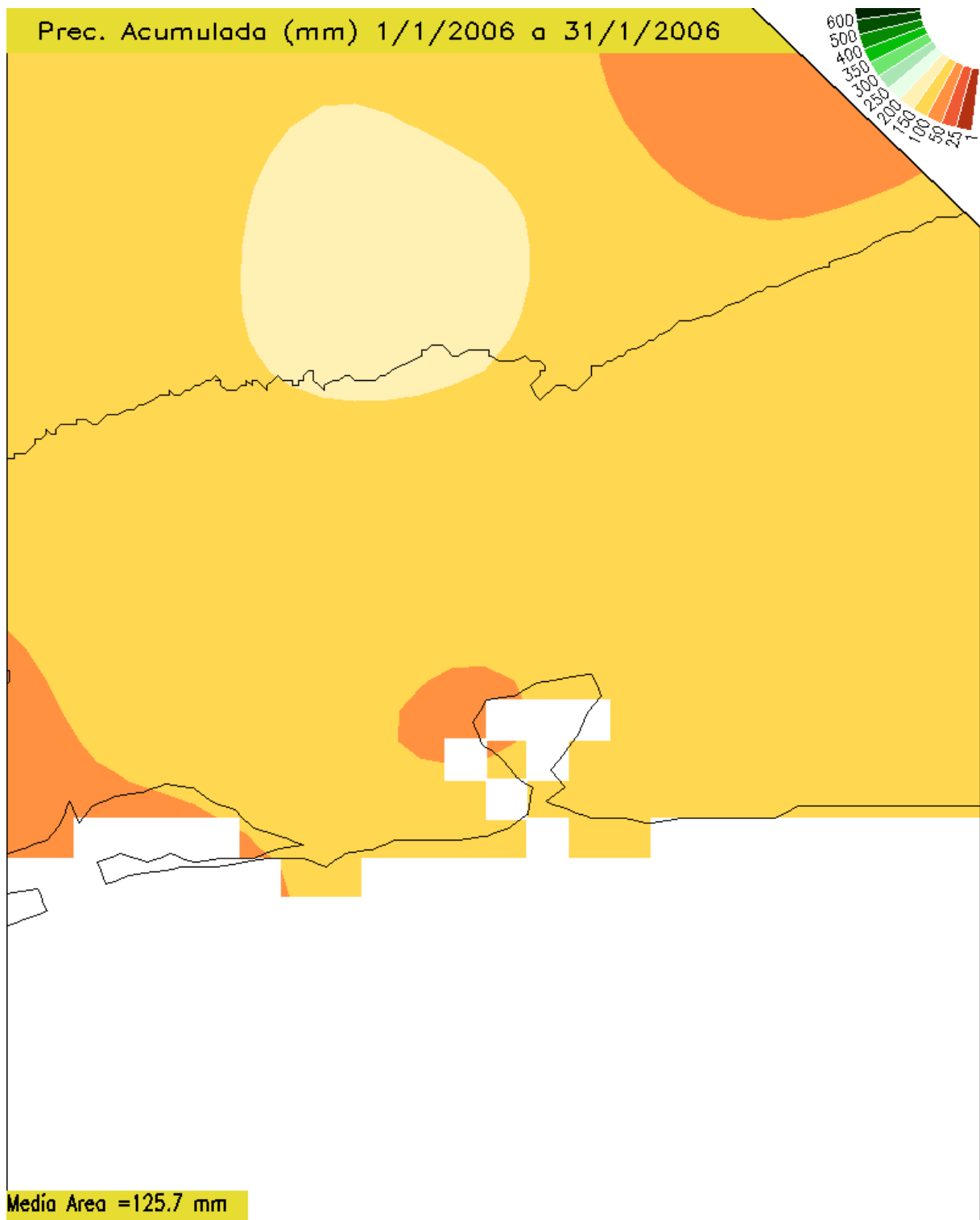


Figura A.2: Mapa da Precipitação interpolada em Janeiro/2006. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

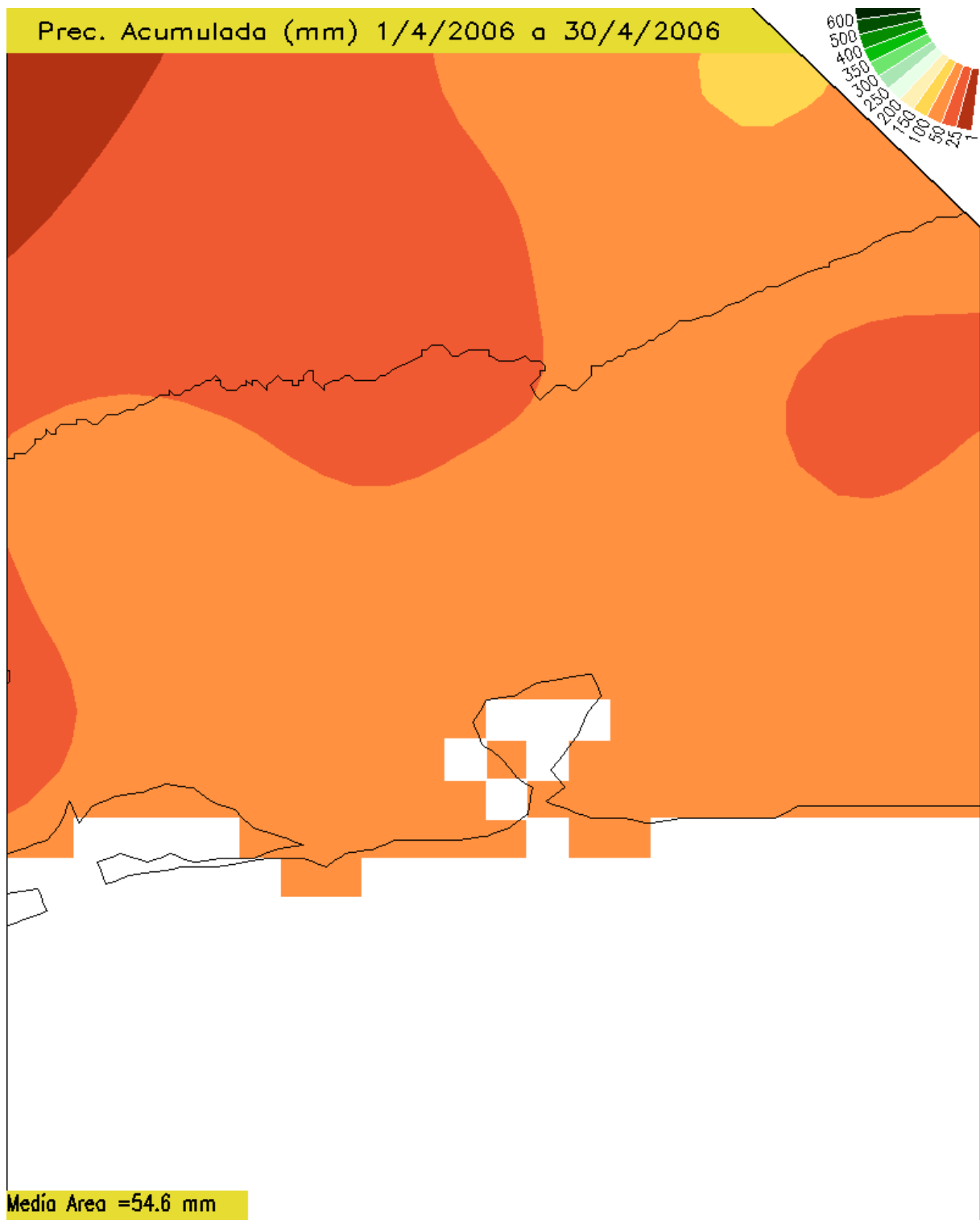


Figura A.3: Mapa da Precipitação interpolada em Abril/2006. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

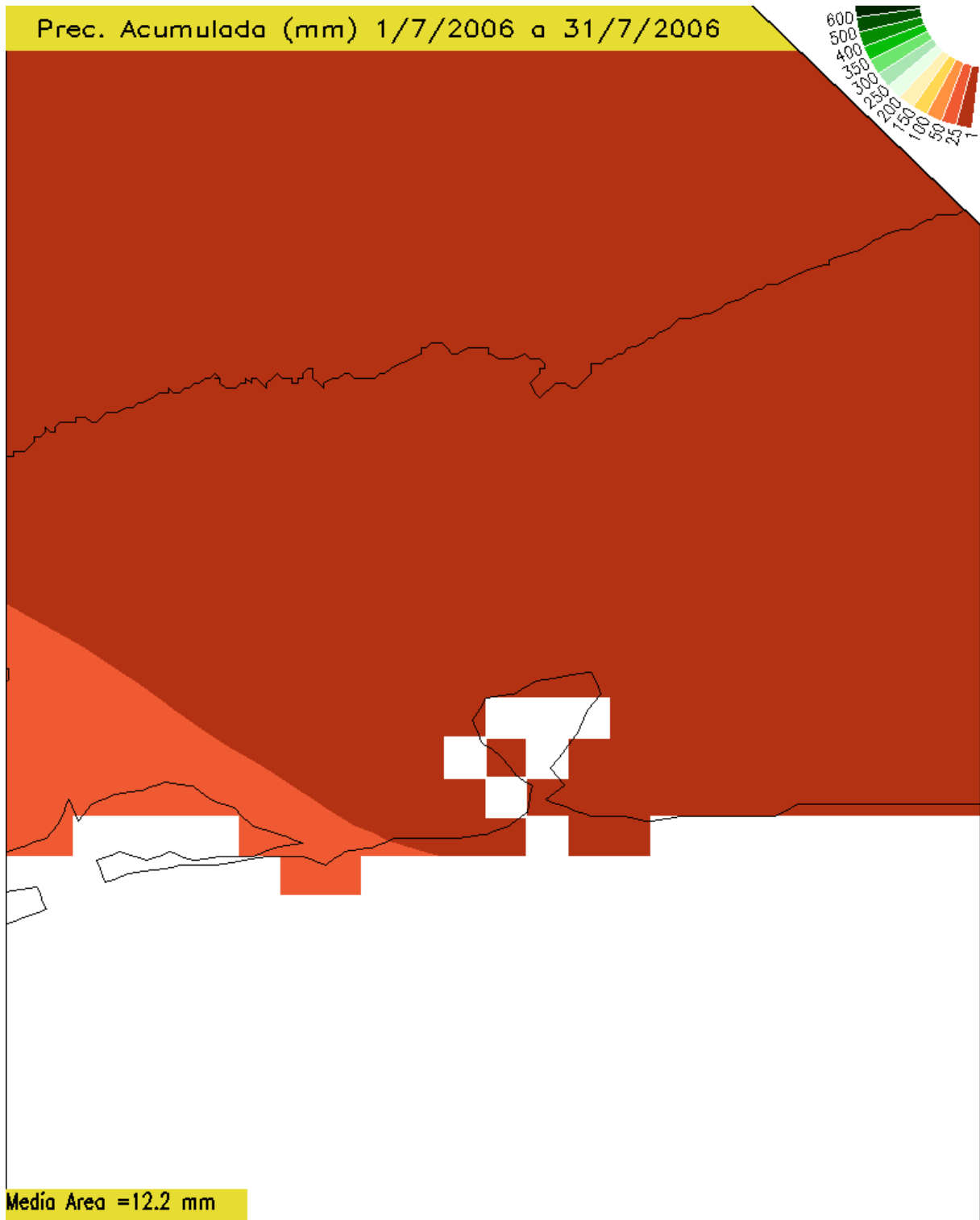


Figura A.4: Mapa da Precipitação interpolada em Julho/2006. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

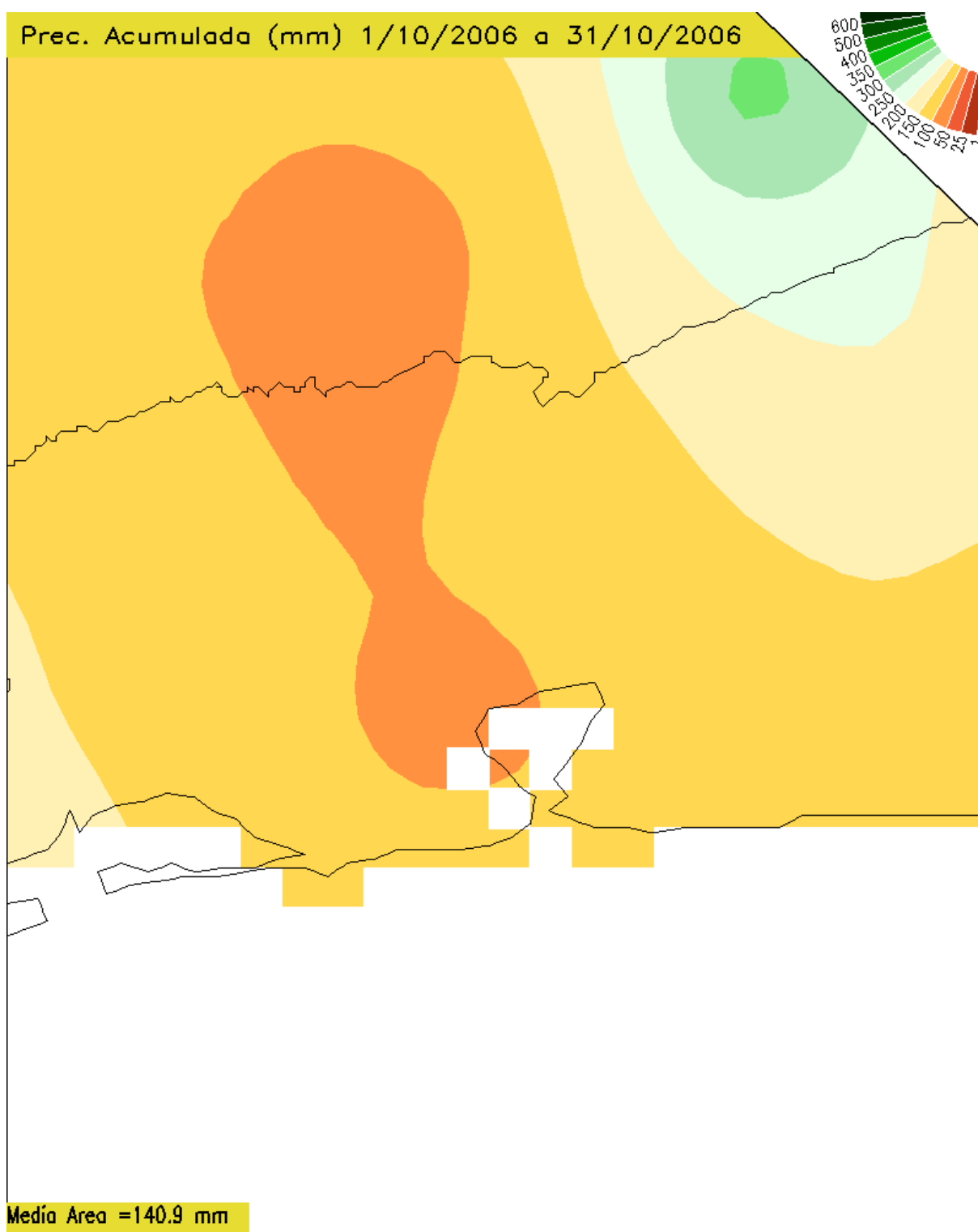


Figura A.5: Mapa da Precipitação interpolada em Outubro/2006. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

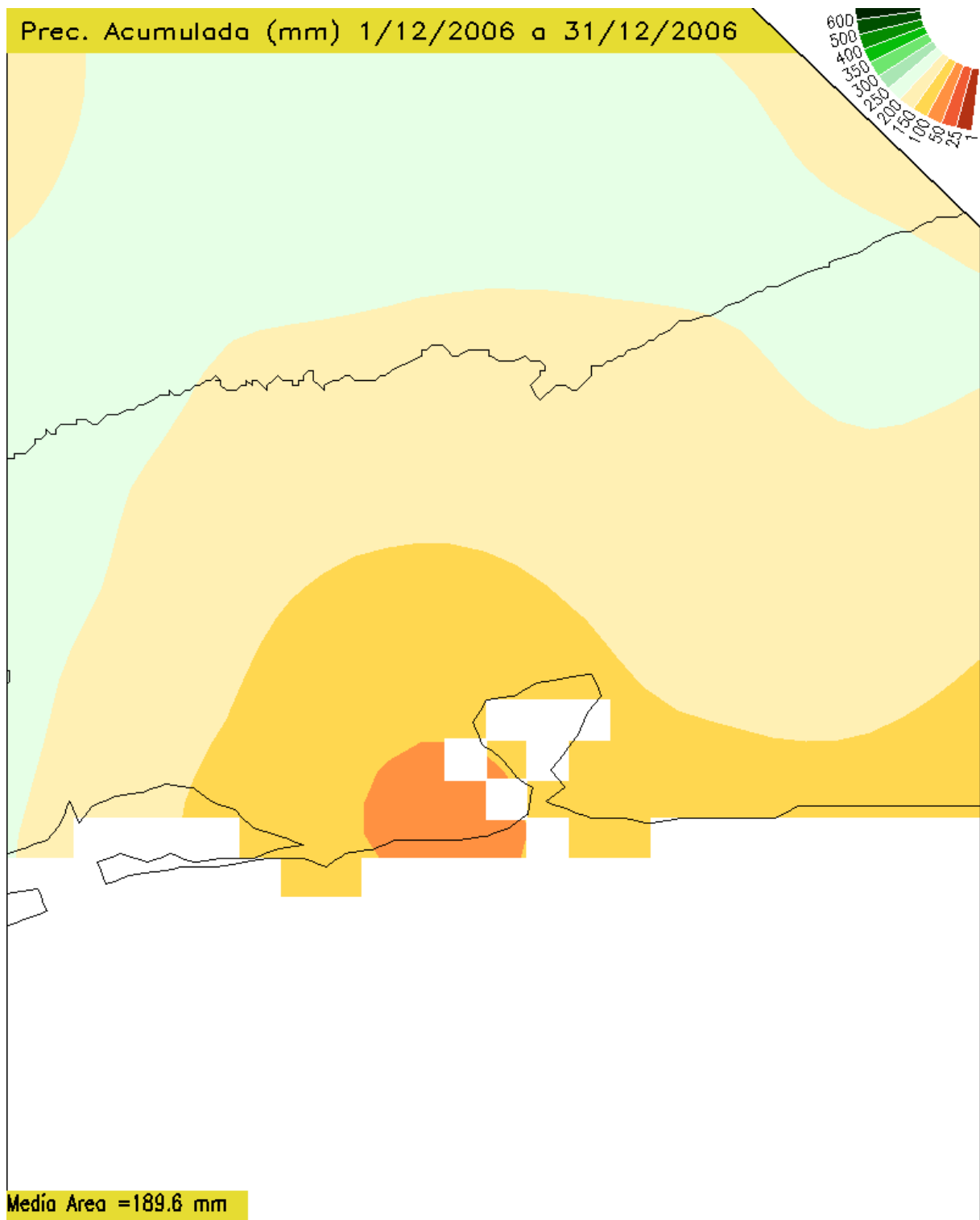


Figura A.6: Mapa da Precipitação interpolada em Dezembro/2006. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

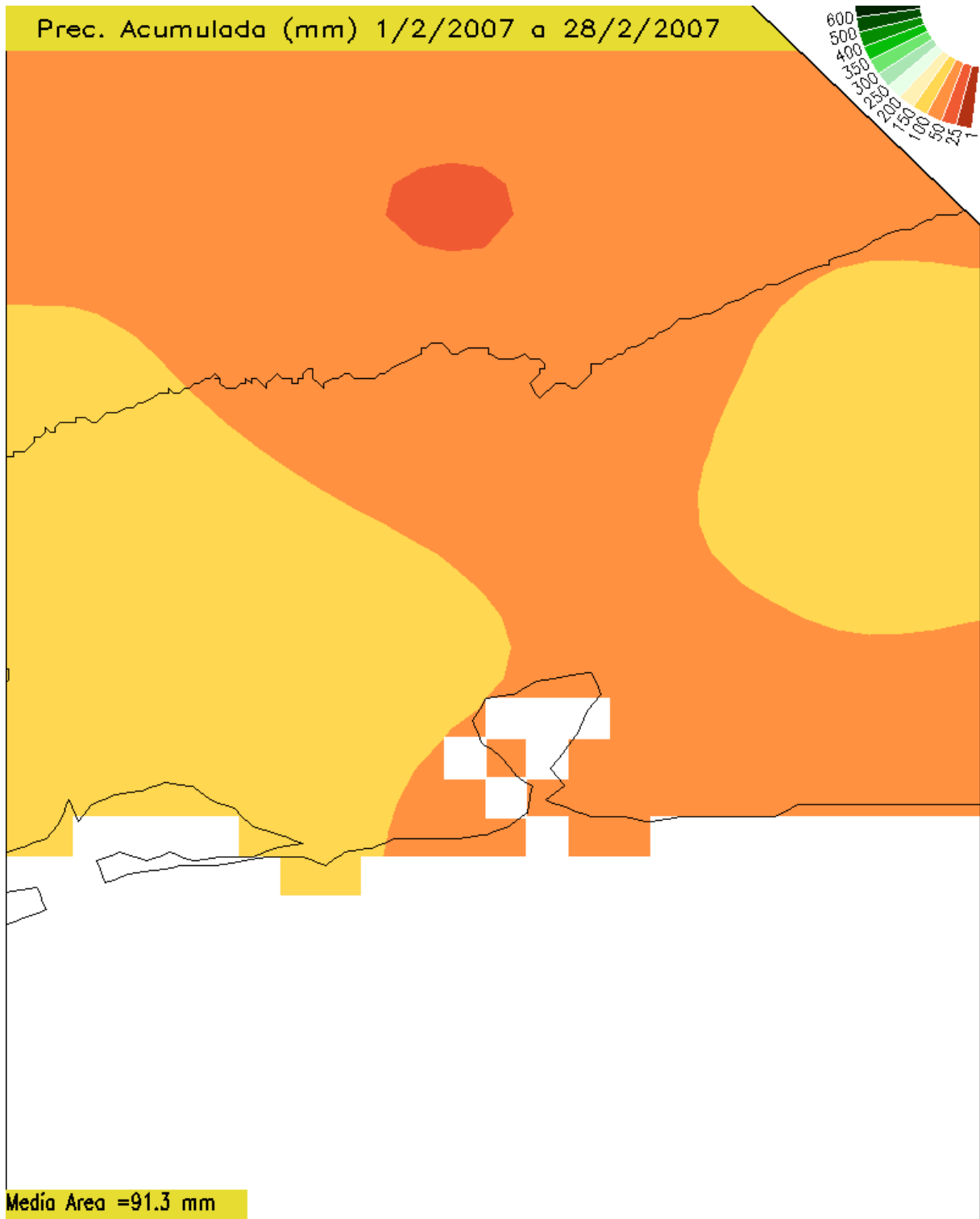


Figura A.7: Mapa da Precipitação interpolada em Fevereiro/2007. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

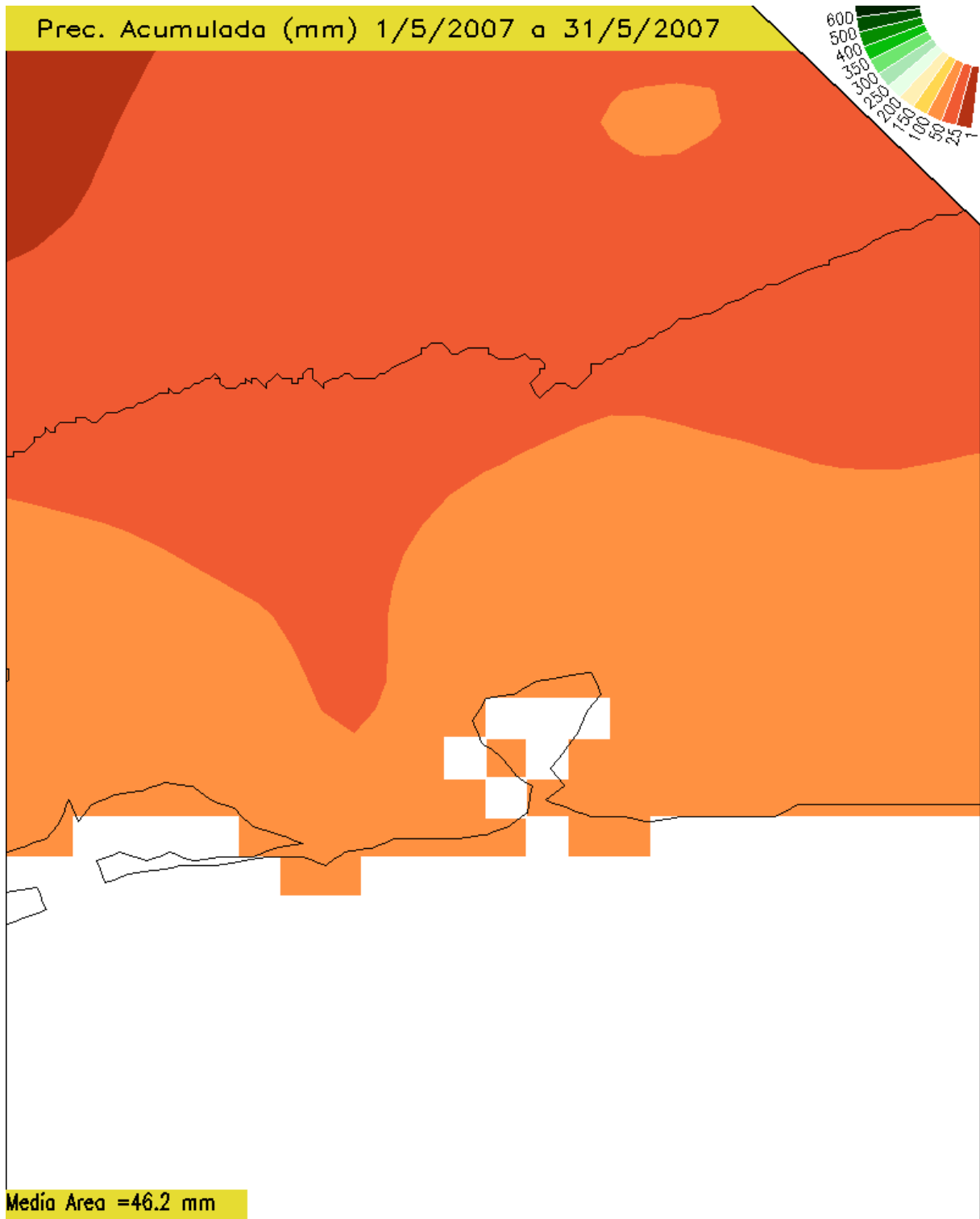


Figura A.8: Mapa da Precipitação interpolada em Maio/2007. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

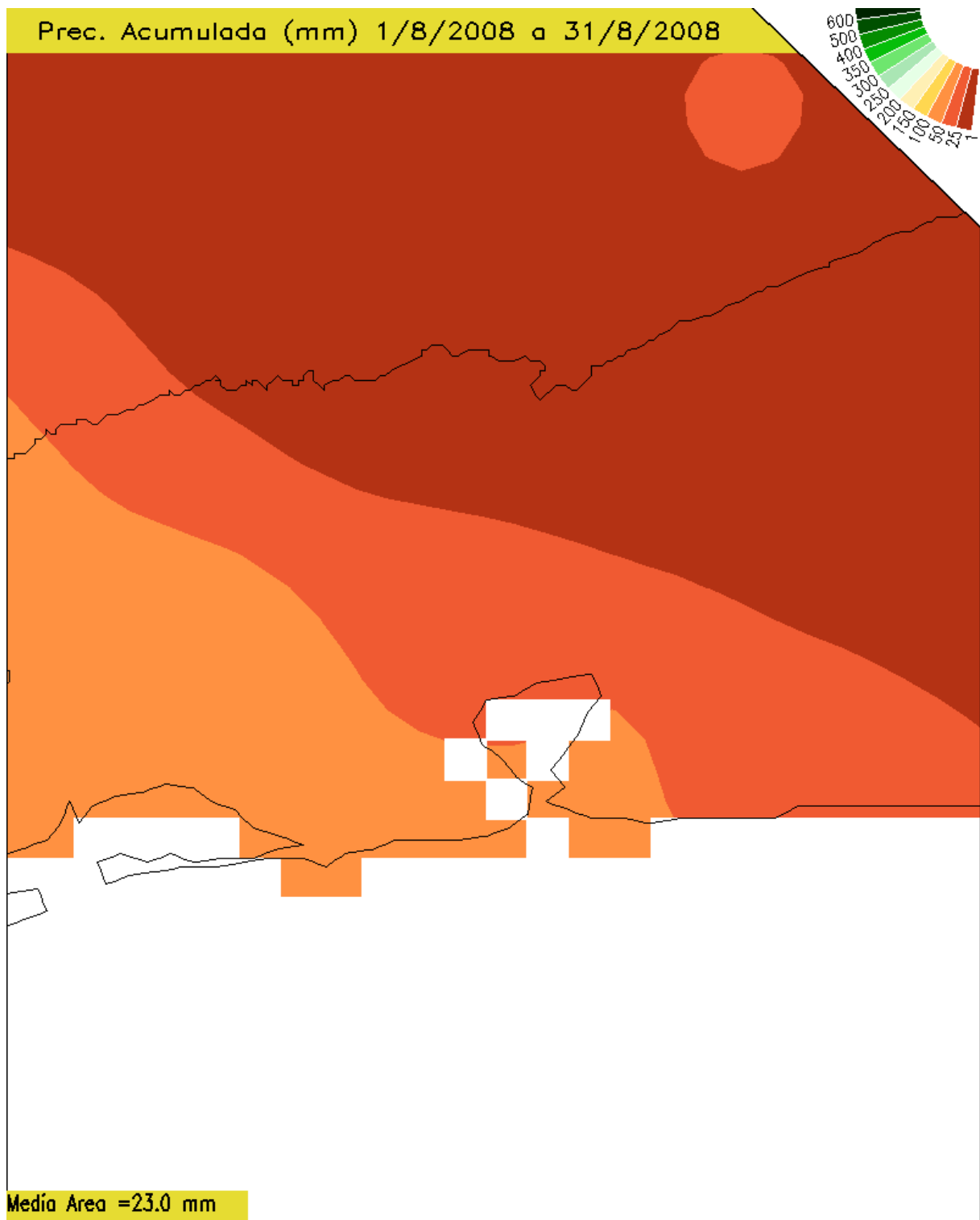


Figura A.9: Mapa da Precipitação interpolada em Agosto/2008. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

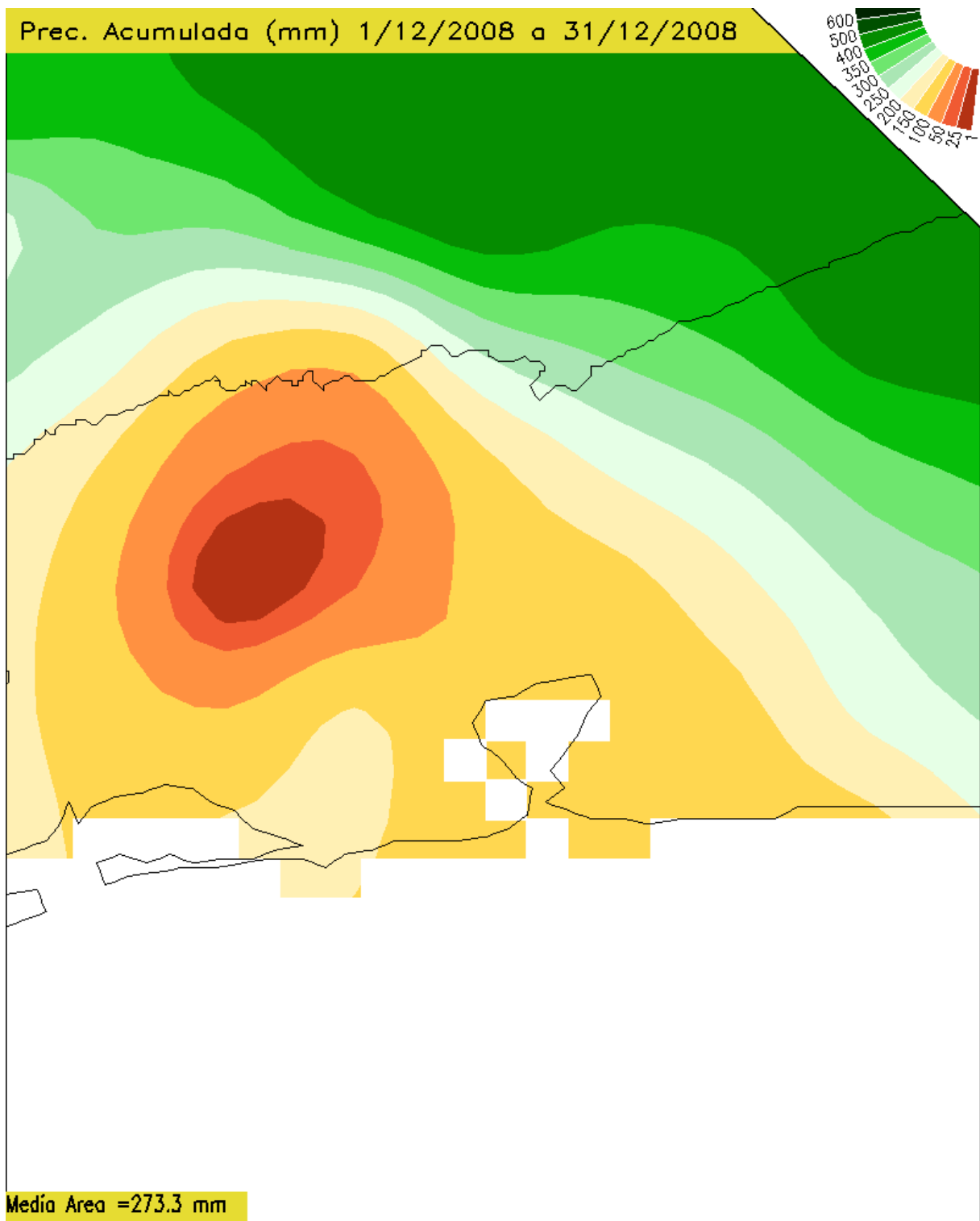


Figura A.10: Mapa da Precipitação interpolada em Dezembro/2008. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

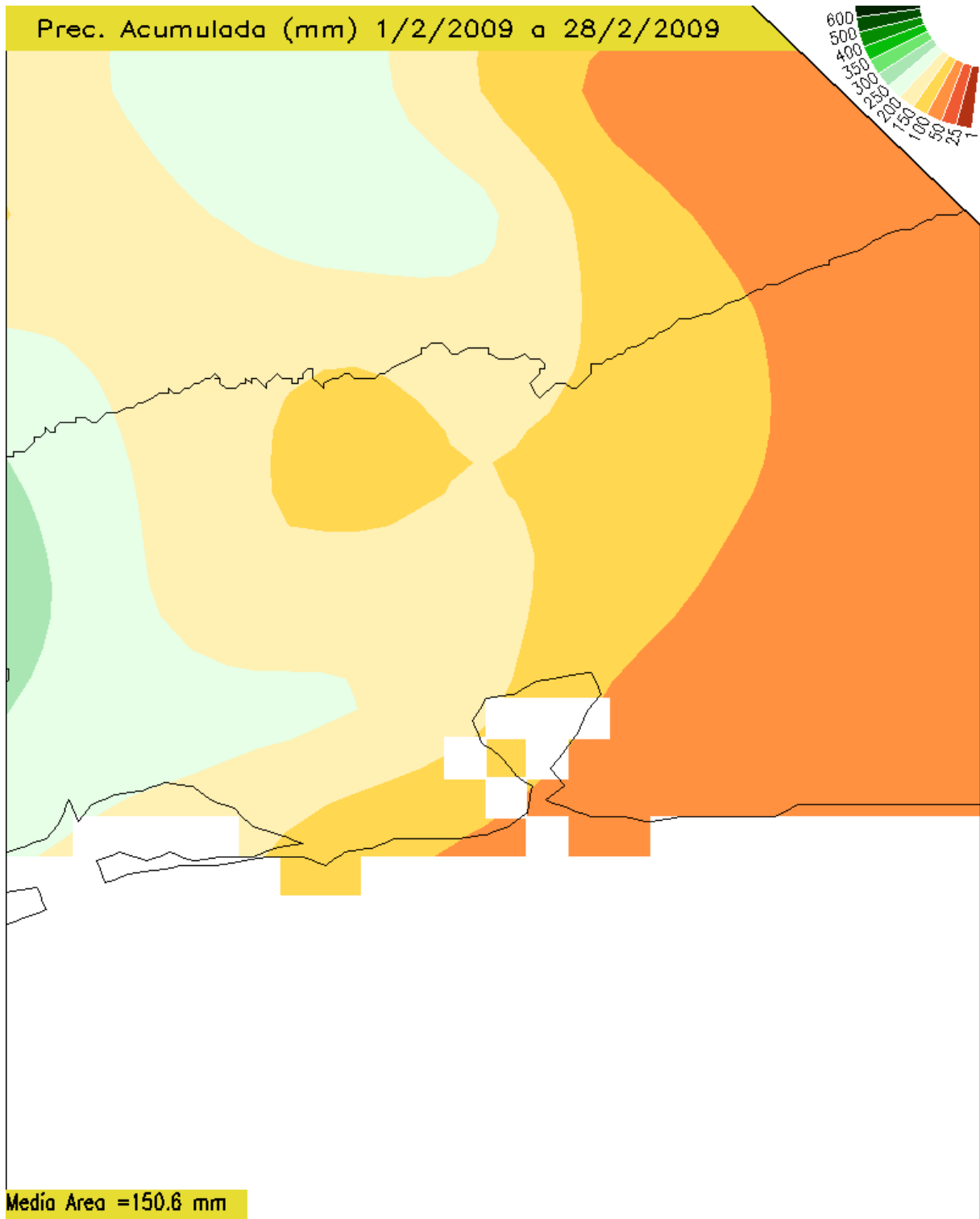


Figura A.11: Mapa da Precipitação interpolada em Fevereiro/2009. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

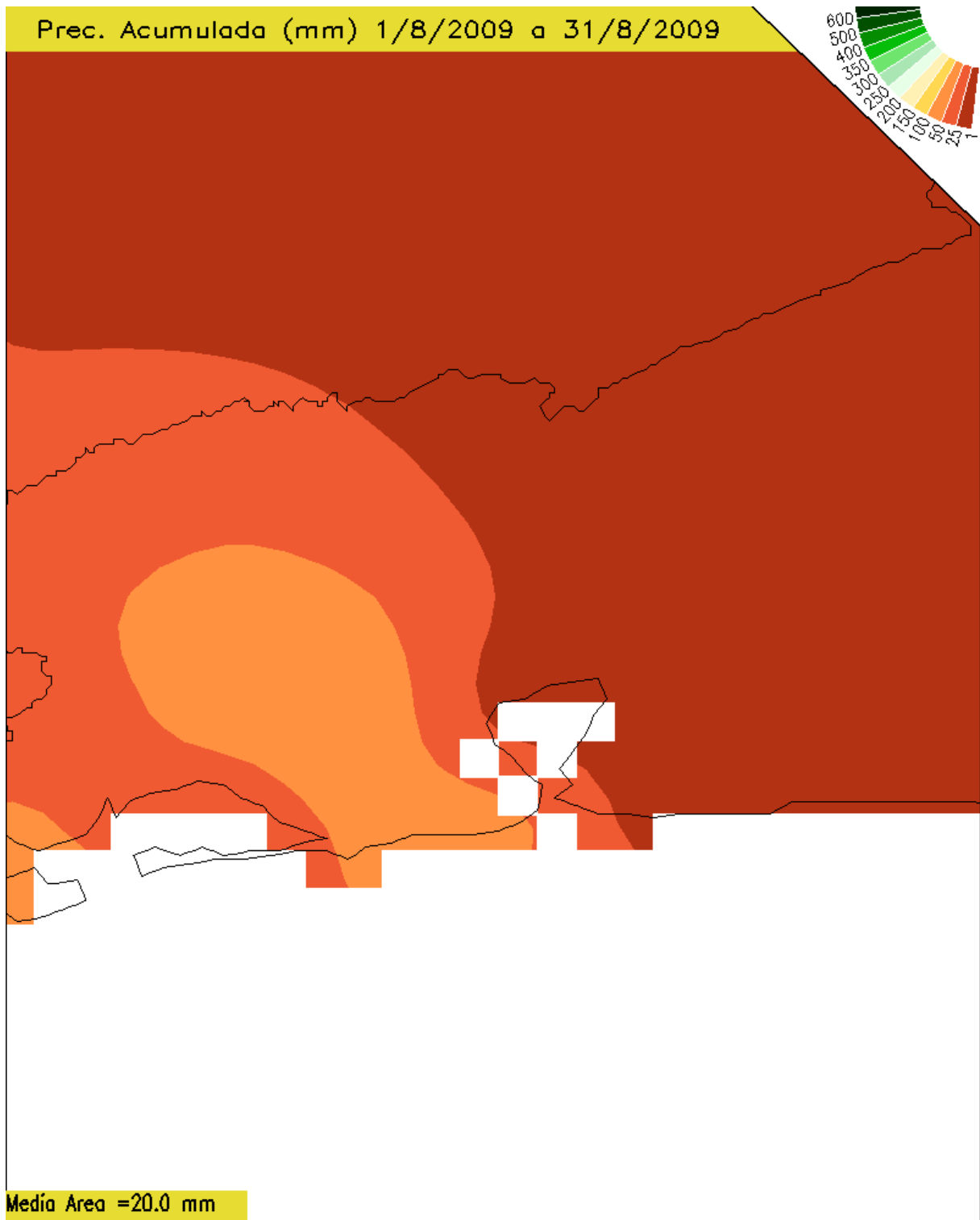


Figura A.12: Mapa da Precipitação interpolada em Agosto/2009. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

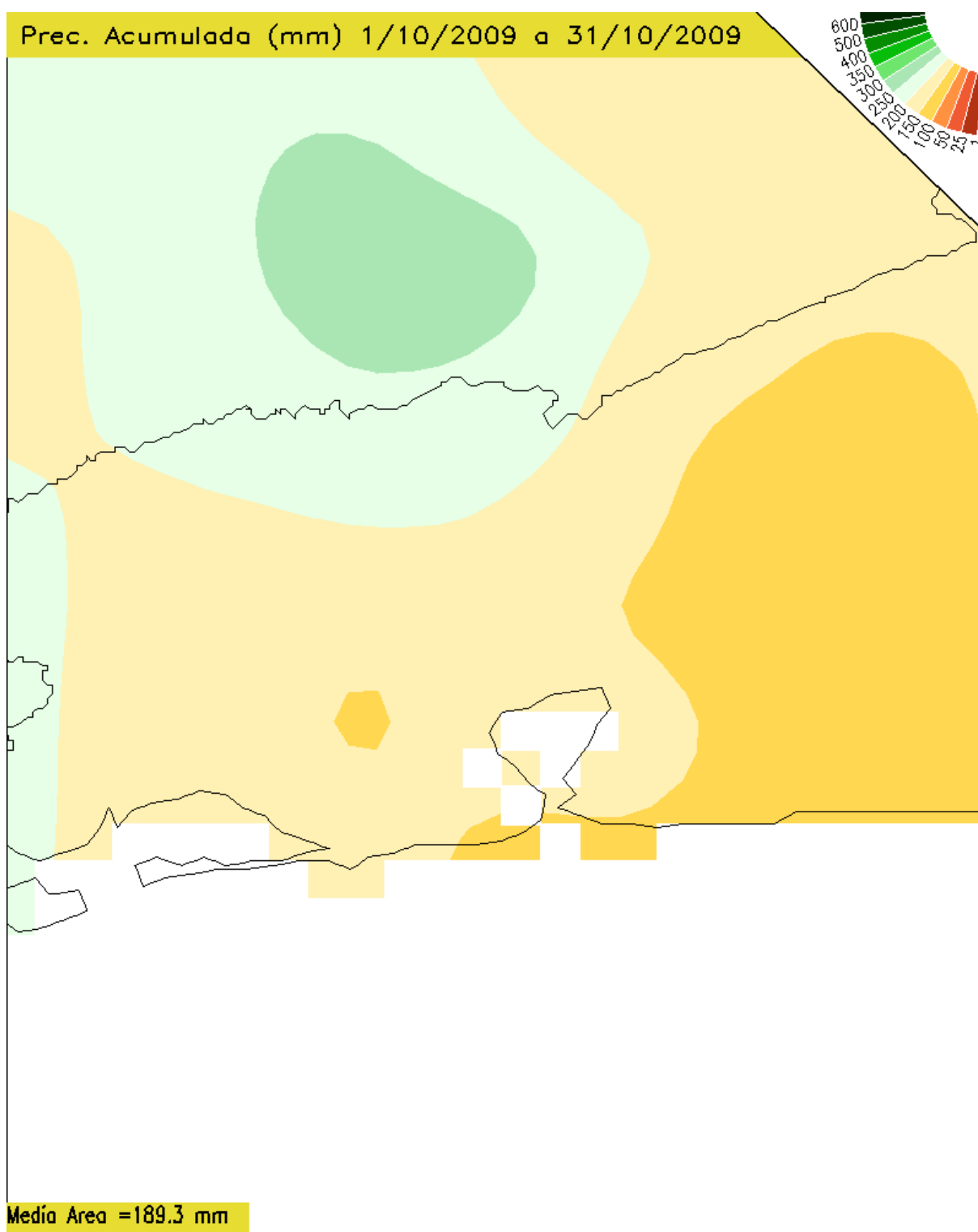


Figura A.13: Mapa da Precipitação interpolada em Outubro/2009. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).

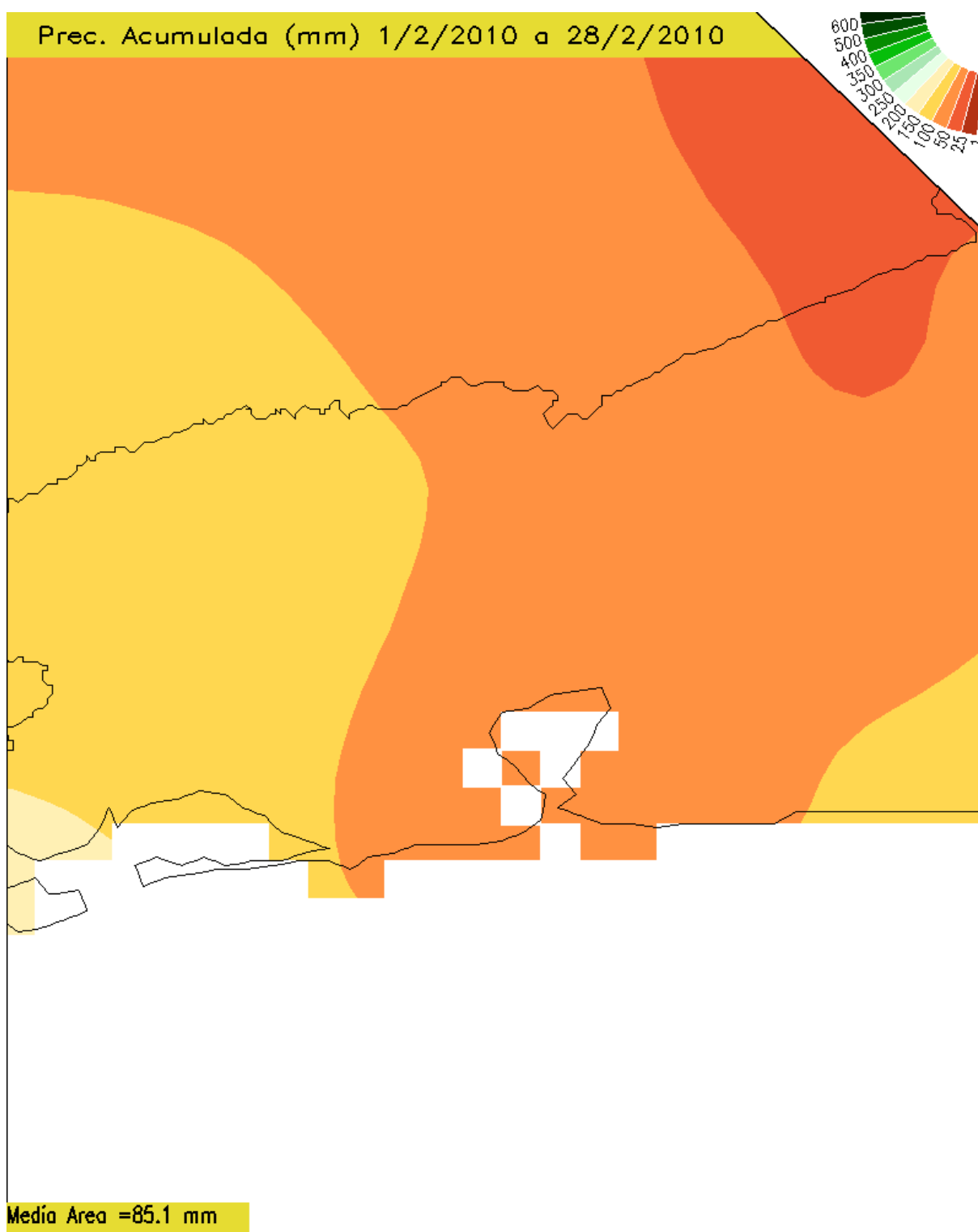


Figura A.14: Mapa da Precipitação interpolada em Fevereiro/2010. (Fonte: site: <http://clima1.cptec.inpe.br/>).