

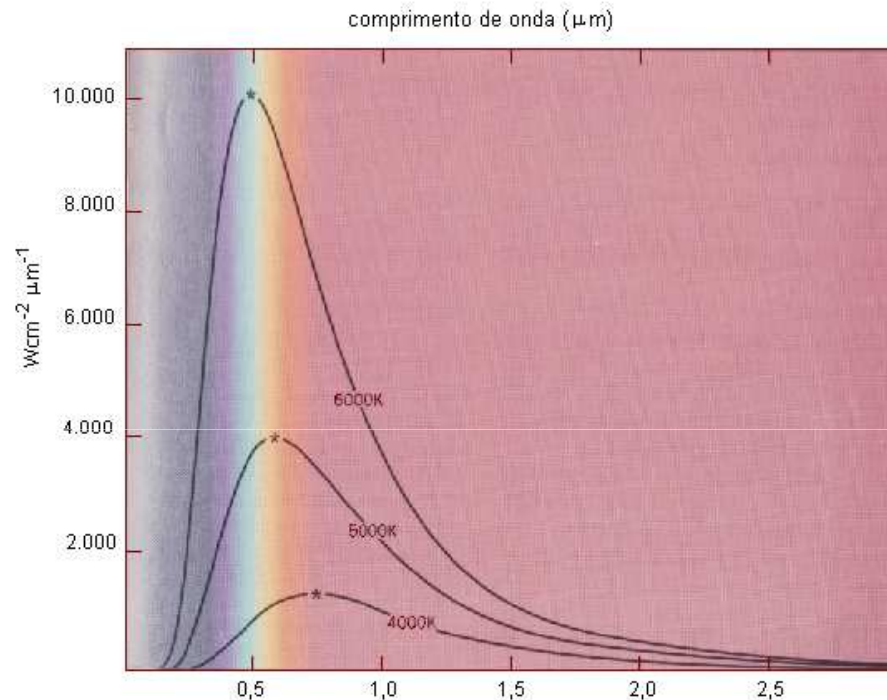
Estimativa da Temperatura da Superfície Terrestre

TST

Estimativa da TST

- **TST** estimada a partir da temperatura de brilho (TB) (temperatura radiante → radiação emitida pela superfície)
- A TB é uma estimativa da temperatura cinética da superfície
- A TB é diferente da TST e das medidas de temperatura efetuadas por equipamentos meteorológicos em terra, devido a:
 - pela diferença na natureza da medida
 - absorção e re-emissão de radiação termal pela atmosfera

Radiação emitida pela superfície



Todo o corpo com temperatura acima do zero absoluto emite radiação eletromagnética

Lei de Planck - [corpo negro](#)

$$M(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)} - 1}$$

onde:

$M(\lambda, T)$ é exitância de corpo negro em um dado comprimento de onda e temperatura, $[\text{Wm}^{-2}]$;

λ é o comprimento de onda $[\text{m}]$;

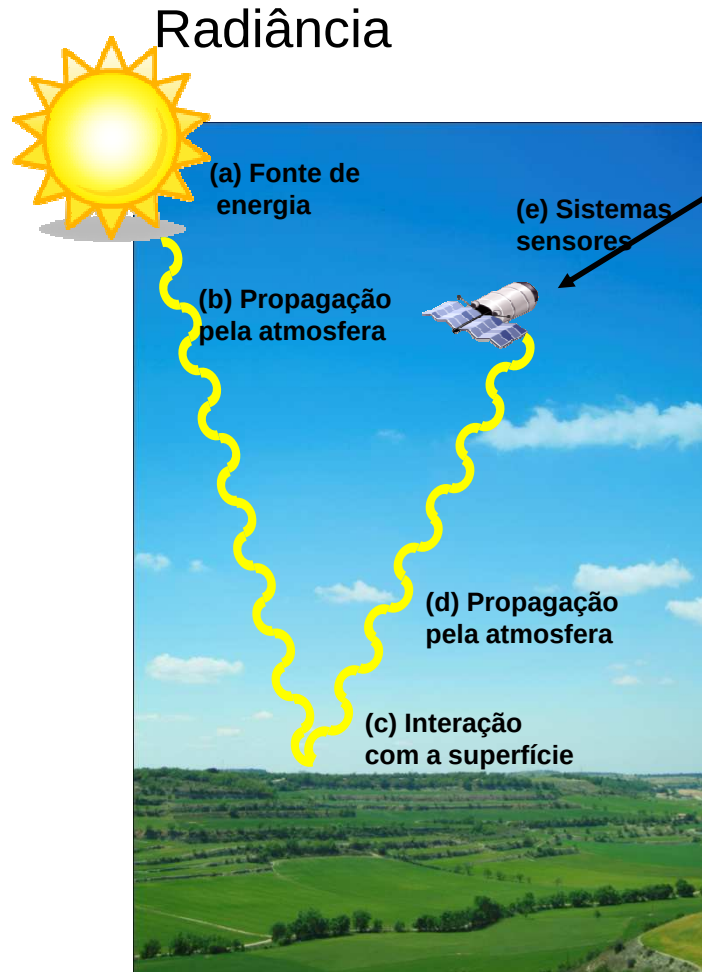
T é a temperatura do objeto $[\text{K}]$;

h é a constante de Planck $[6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}]$;

c é a velocidade da luz $[2,997 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}]$;

k é a constante de Boltzmann $[1,380 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}]$;

Detecção da radiação por sensores orbitais



$$L(T) = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Ti}(\lambda) \Phi(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{i=1}^n \Phi_i(\lambda) \Delta\lambda}$$

onde:

$M(\lambda, T)$ é exitância de corpo negro

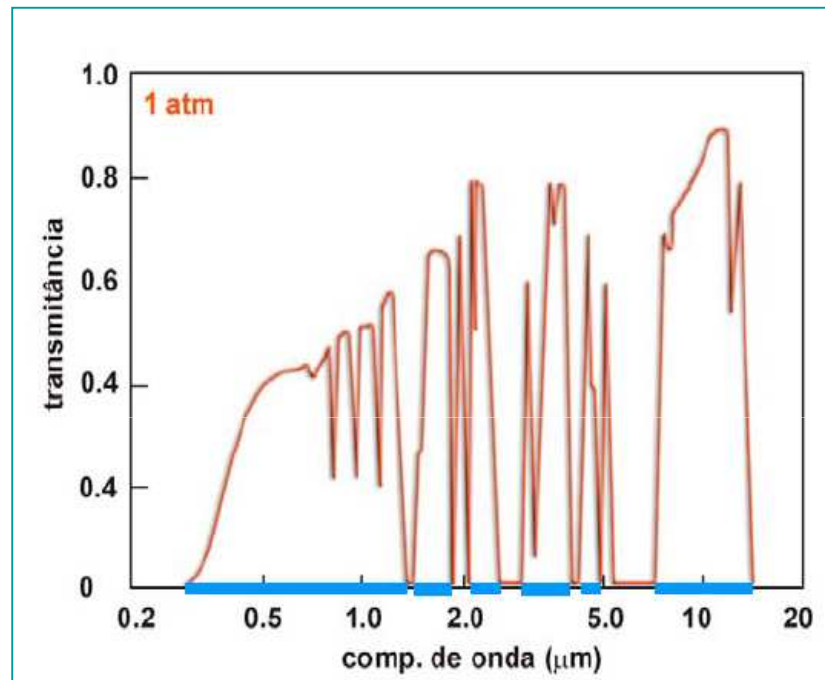
$L\lambda$ é a radiância espectral $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$

$\Phi(\lambda)$ é a curva de resposta do sensor num dado comprimento de onda

Dificuldades de obtenção de TST:

- ✓ 1. Perturbações introduzidas durante a transferência da energia irradiada através da atmosfera;
- ✓ 2. Características emissivas da superfície observada diferentes das de um corpo negro.

Transferência da energia irradiada através da atmosfera



Janelas atmosféricas

Devido aos processos de interação da radiação termal com a atmosfera é imperativa a inclusão de modelos numéricos e variáveis que apreciem o processo de transferência da radiação através da atmosfera

Características emissivas da superfície observada

- ✓ Superfície apresenta características distintas das de um corpo negro

Emissividade

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{R_T(\lambda)}{M_T(\lambda)}$$

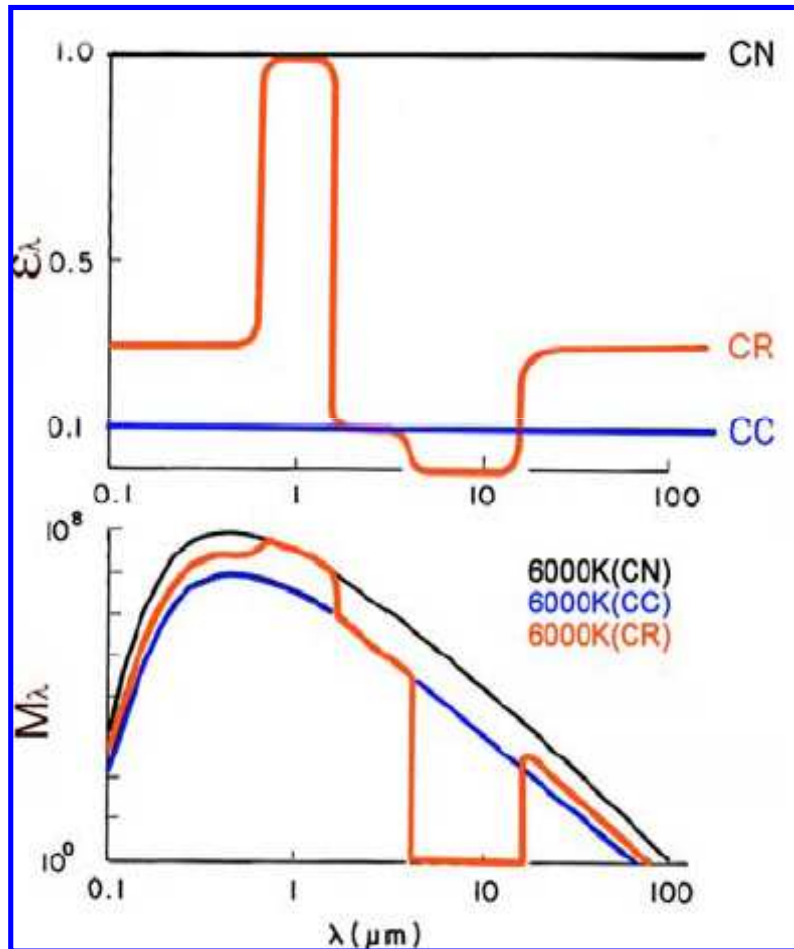
onde:

$M_T(\lambda)$ é a excitância por unidade de área em um dado comprimento de onda especificado por λ , que parte da superfície do corpo negro [Wm^{-2}];

$R_T(\lambda)$ é a excitância por unidade de área da superfície de um corpo real em uma temperatura específica para cada comprimento de onda [$\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$];

$\varepsilon(\lambda)$ é a emissividade do corpo em função do comprimento de onda

Características emissivas da superfície observada



- Os valores da emissividade em geral são desconhecidos e diferentes da unidade na faixa de 10,3 a 12,5 μm .
- Apesar disso, os valores de emissividade da superfície geralmente variam de 0,9 a 1,0 e dependem da rugosidade, do tipo de cobertura presente, além de outros parâmetros físicos (Andersen, 1997).

Métodos para a estimativa da TST

Algoritmos *split-window*: estão fundamentados na equação de transferência radiativa (Qin e Karnieli, 1999), que pressupõe:

- a superfície terrestre é um refletor Lambertiano;
- situação de céu claro e livre de nuvens;
- prevalecem na atmosfera as condições de equilíbrio termodinâmico.

A equação de transferência radiativa pode ser expressa genericamente (Ulivieri et al., 1994)

$$M_T(\lambda) = R(\lambda, T_S)\tau(\lambda) + R(\lambda, T_A)\tau(\lambda)$$

*radiação emitida pela
superfície terrestre que é
atenuada pela atmosfera*

*contribuições atmosféricas:
- a porção emitida pela atmosfera
para cima (espaço) e
- a porção emitida pela atmosfera
para baixo que é refletida pela
superfície terrestre*

onde:

$M_T(\lambda)$ é a excitância espectral na camada mais externa da atmosfera;

$R_T(\lambda)$ é a excitância espectral por unidade de área da superfície de um corpo real em uma temperatura específica para cada comprimento de onda;

λ é o comprimento de onda;

T_S é a temperatura da superfície terrestre;

T_A é a temperatura média da atmosfera;

$\tau(\lambda)$ é transmitância atmosférica.

Métodos *split-window*

- São métodos multi-canaís (janela dividida local);
- Base teórica: os efeitos atmosféricos conjugados resultam em atenuação da radiação emitida pela superfície maior em um canal centrado em $11,5\mu\text{m}$ do que em um canal centrado em $10,5\mu\text{m}$;
- Esta diferença varia principalmente na proporção da presença de vapor de água na atmosfera;

Antecedentes (métodos *split-window*)

- Usados inicialmente na estimativa da TSM (temperatura da superfície do mar),
- A emissividade é assumida como igual a unidade, por estar muito próximo do valor real sobre o mar;
- Considerando que a emissividade é a mesma, a variação na radiância captada nas duas bandas adjacentes está associada aos efeitos atmosféricos conjugados (Ouaidrari et al. 2002).
- Desta maneira, é possível demonstrar que a temperatura resulta da combinação linear simples da equação de transferência radiativa, na forma apresentada pela primeira vez por McMillin (1975).

Método *split-window* em imagens NOAA/AVHRR

Aplica a função inversa de Planck, integrada na faixa dos comprimentos de onda das bandas 4 e 5 do NOAA/AVHRR, e obtém-se:

$$TST = T_4 + a(T_4 - T_5) + b$$

onde:

T_s é a temperatura estimada da superfície;

T_4 e T_5 são as temperaturas de brilho nas bandas 4 e 5, respectivamente;

a e b são os coeficientes da equação que devem ser determinados.

Os coeficientes a e b geralmente levam em conta o estado atmosférico relacionado a radiação e transmitância, a emissividade da superfície e os deslocamentos angulares do sensor.

Método *split-window* em imagens NOAA/AVHRR

Método *split-window* por Sobrino et al. (1993)

$$TST = T_4 + [0,53 + 0,62(T_4 - T_5)](T_4 - T_5) + 64(1 - \varepsilon_o)$$

onde:

TST é a temperatura estimada da superfície;

T₄ e T₅ são as temperaturas de brilho nas bandas 4 e 5, respectivamente;

ε_o é a emissividade média das bandas 4 e 5.

Método *split-window* em imagens NOAA/AVHRR

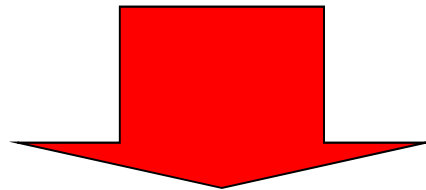
Emissividade da superfície (ϵ_0)

Valores típicos:

ϵ_0 do corpo negro = 1

ϵ_0 de superfícies naturais < 1

ϵ_0 varia com o tipo de vegetação, umidade do solo e rugosidade



alternativa **NDVI**

Método *split-window* em imagens NOAA/AVHRR

Emissividade da superfície segundo Valor e Caselles (1996)

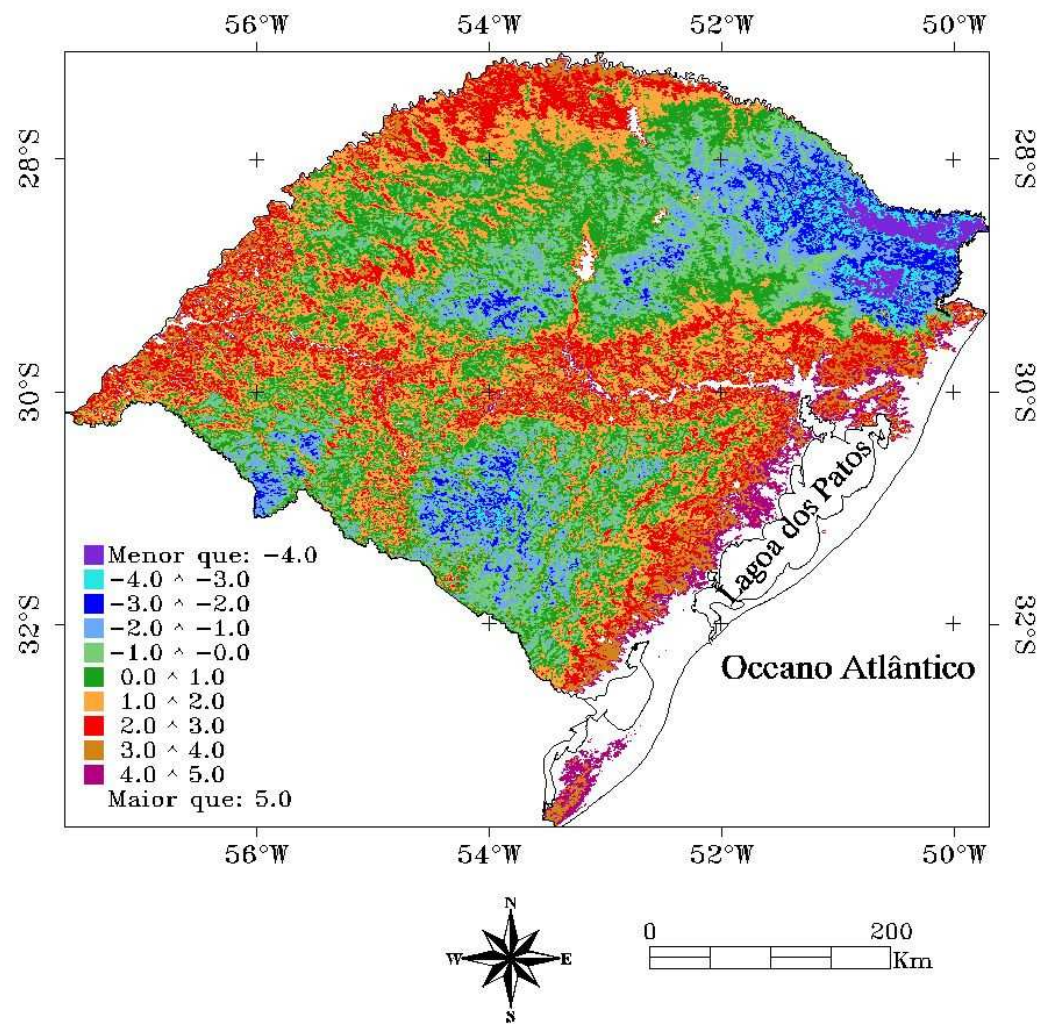
$$\varepsilon_o = 0,985P_V + 0,96(1 - P_V) + 0,06P_V(1 - P_V)$$

$$P_V = \frac{\left(1 - \frac{i}{ig}\right)}{\left(1 - \frac{i}{ig}\right) - k\left(1 - \frac{i}{iv}\right)} \quad k = \frac{\rho_{2v} - \rho_{1v}}{\rho_{2g} - \rho_{1g}}$$

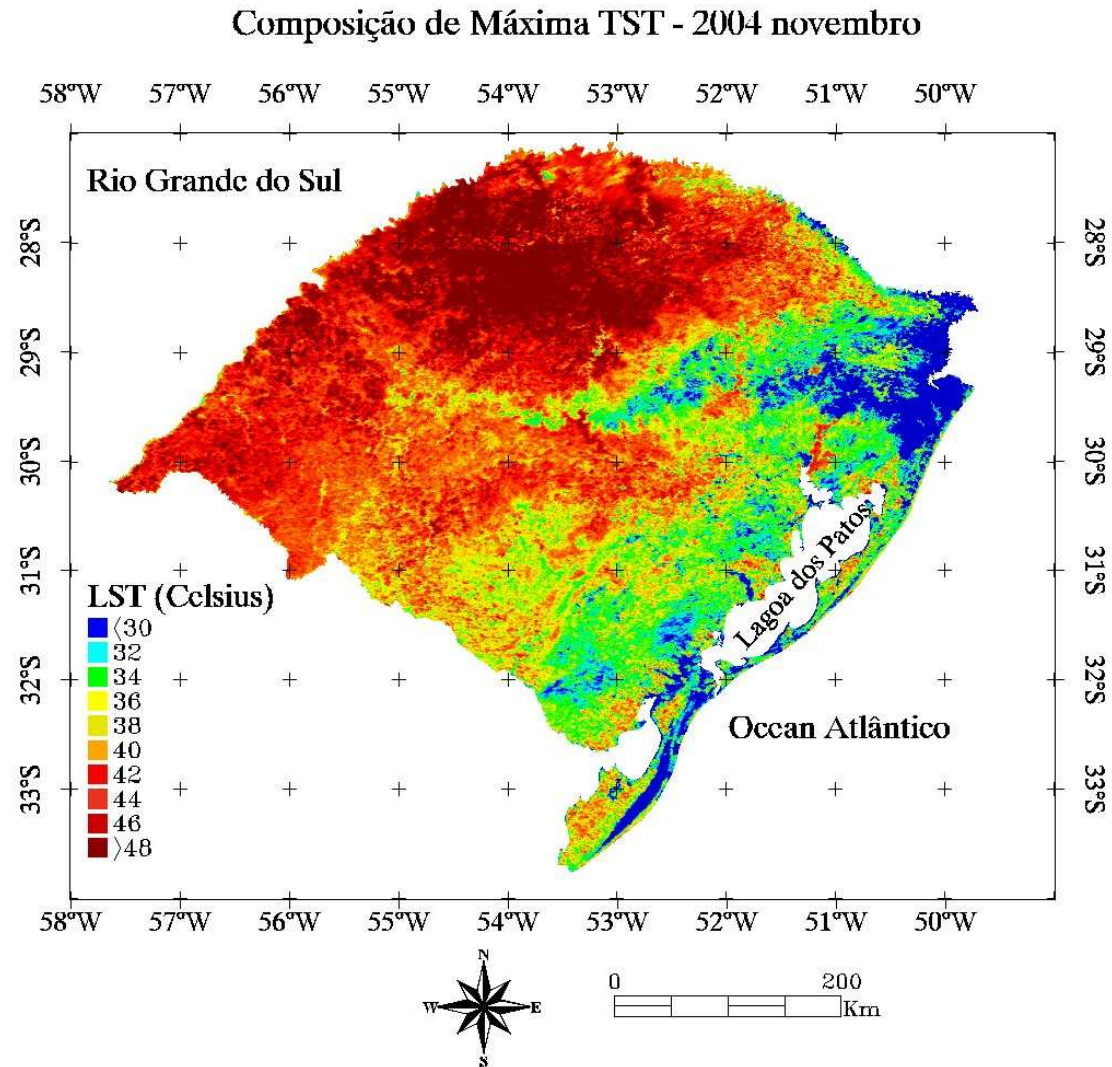
onde: i = NDVI; ig = NDVI solo nú; iv = NDVI da superfície vegetada; $\rho 1$ e $\rho 2$ = reflectância nas bandas 1 e 2 do AVHRR, sendo v para vegetação e g para solo descoberto.

NOAA-15 - Composição noturna

Imagem TST por Sobrino et al. (1993)

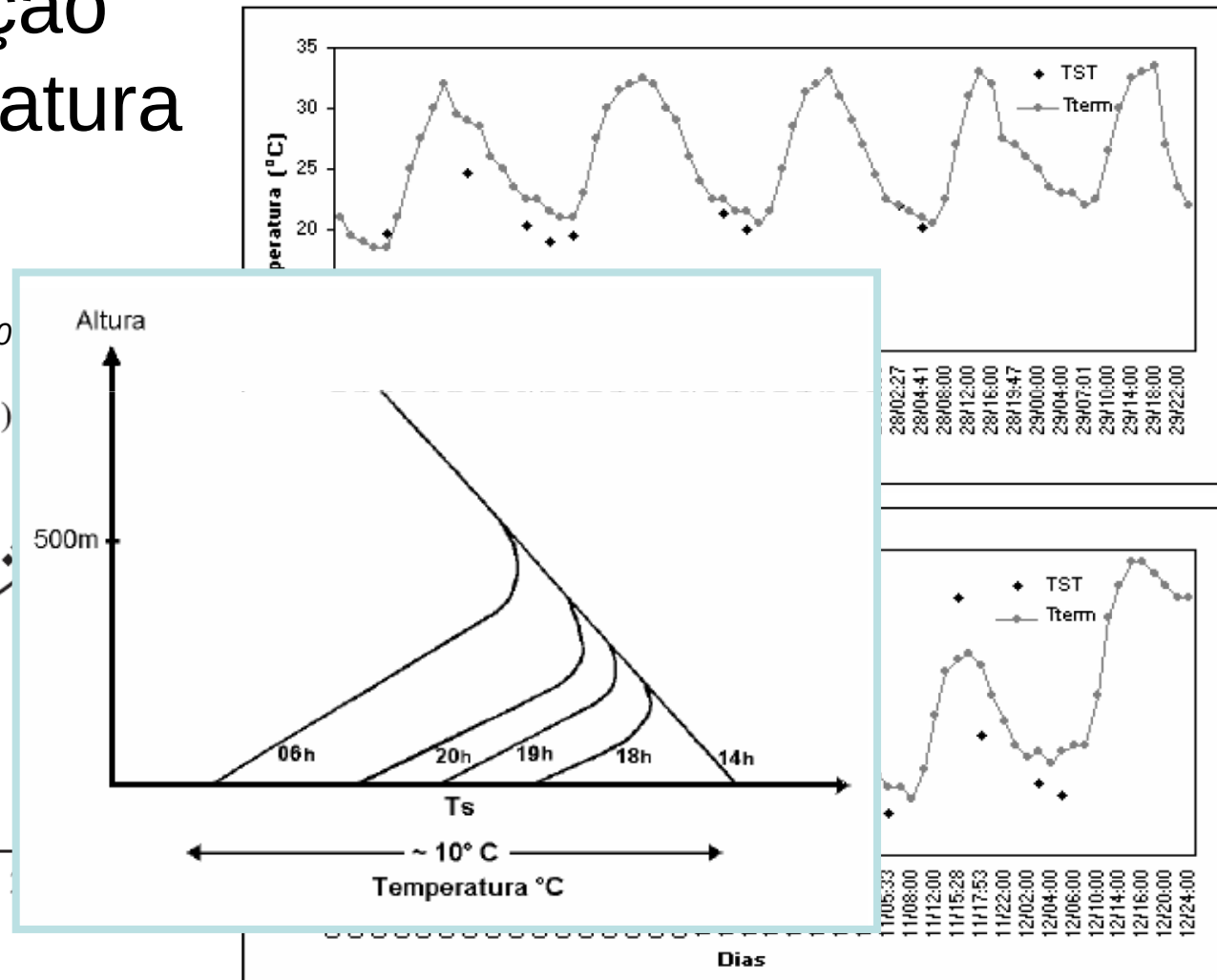
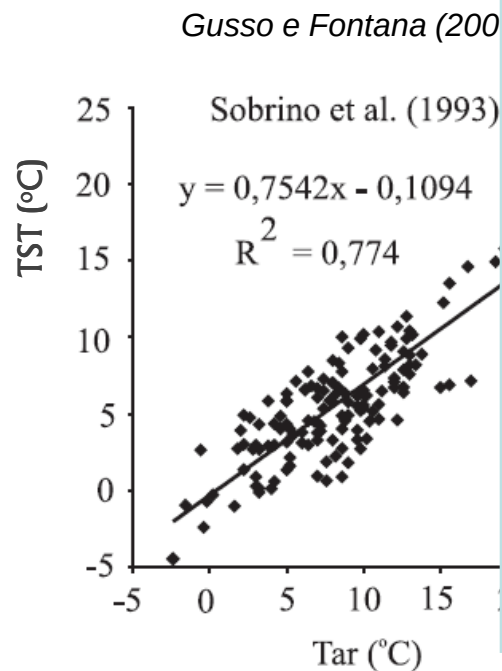


NOAA-16 Composição diurna



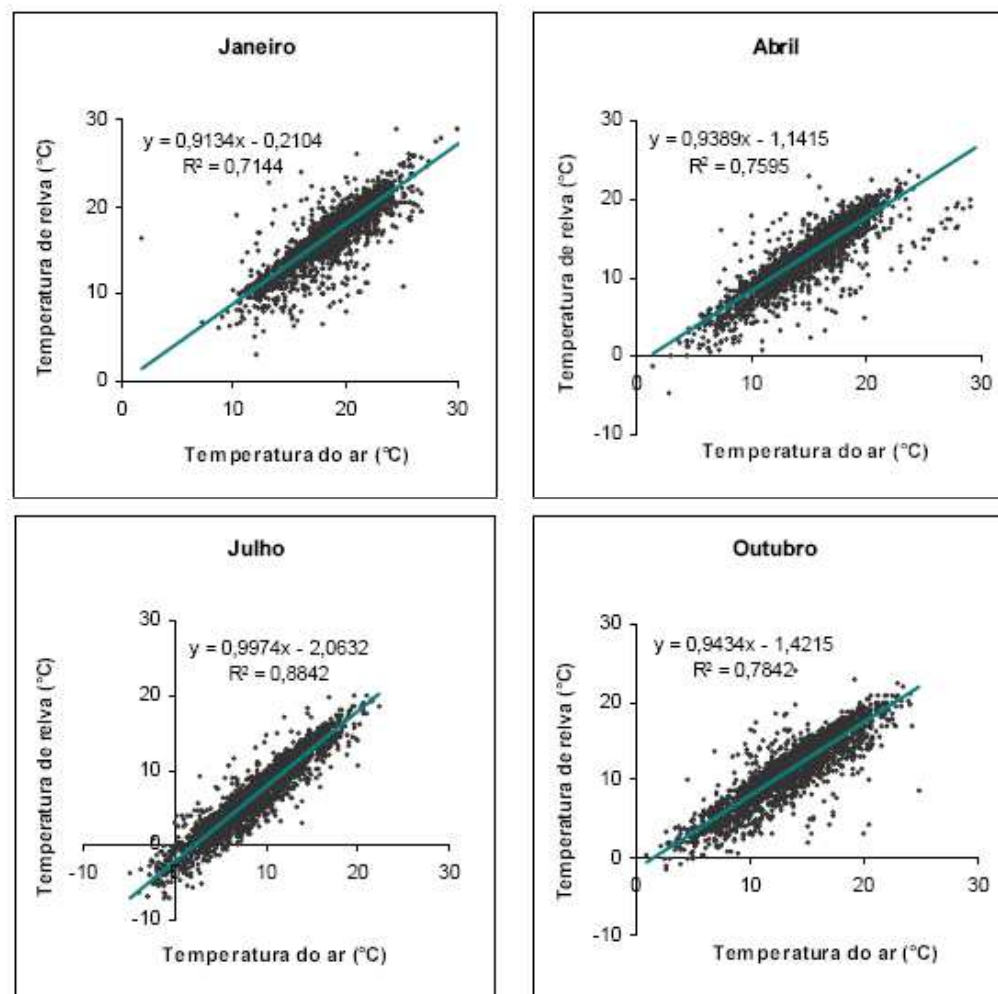
Como verificar a estimativa de TST?

Comparação com temperatura do ar



Ferreira e Fontana (2006)

Relação $T_{\text{mínima}}$ e T_{relva}



Diferença
($T_{\text{min}} - T_{\text{rel}}$)
1,3 - 3,7°C

Figura 5. Regressão linear entre a temperatura mínima do ar medida no abrigo e a temperatura mínima do ar na relva, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro, para o Estado do Rio Grande do Sul (1980-1990).

Ferreira et al. (2006)

Mapa de frequência de ocorrência de Geadas A partir de imagens MODIS



XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA e VII REUNIÓN LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA

Mesa redonda
Sensoriamento remoto aplicado a agricultura

BELÉM, 2013

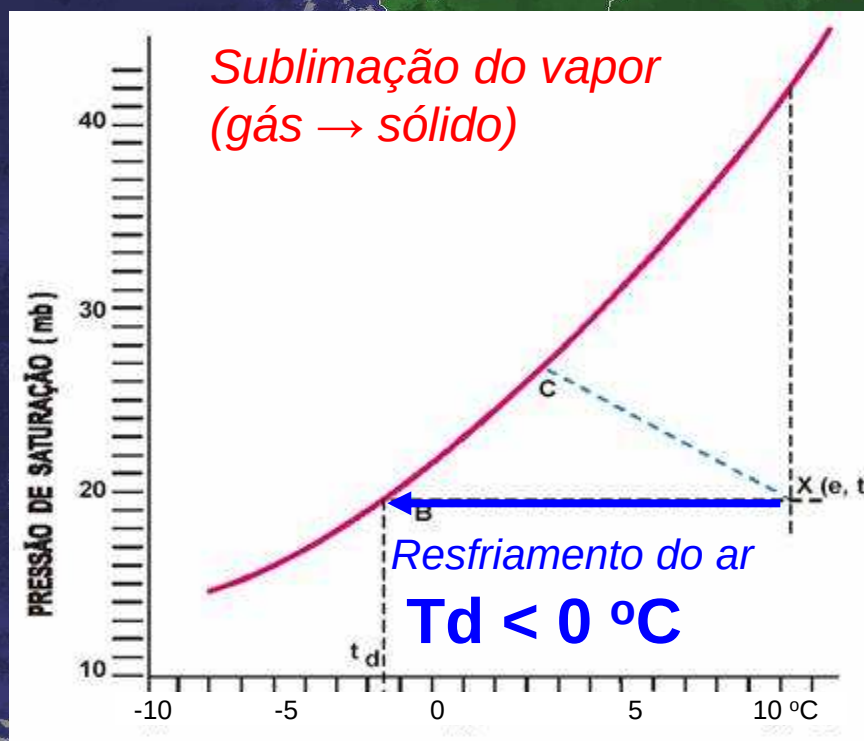
O que é geada?



XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA e VII REUNIÓN LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA

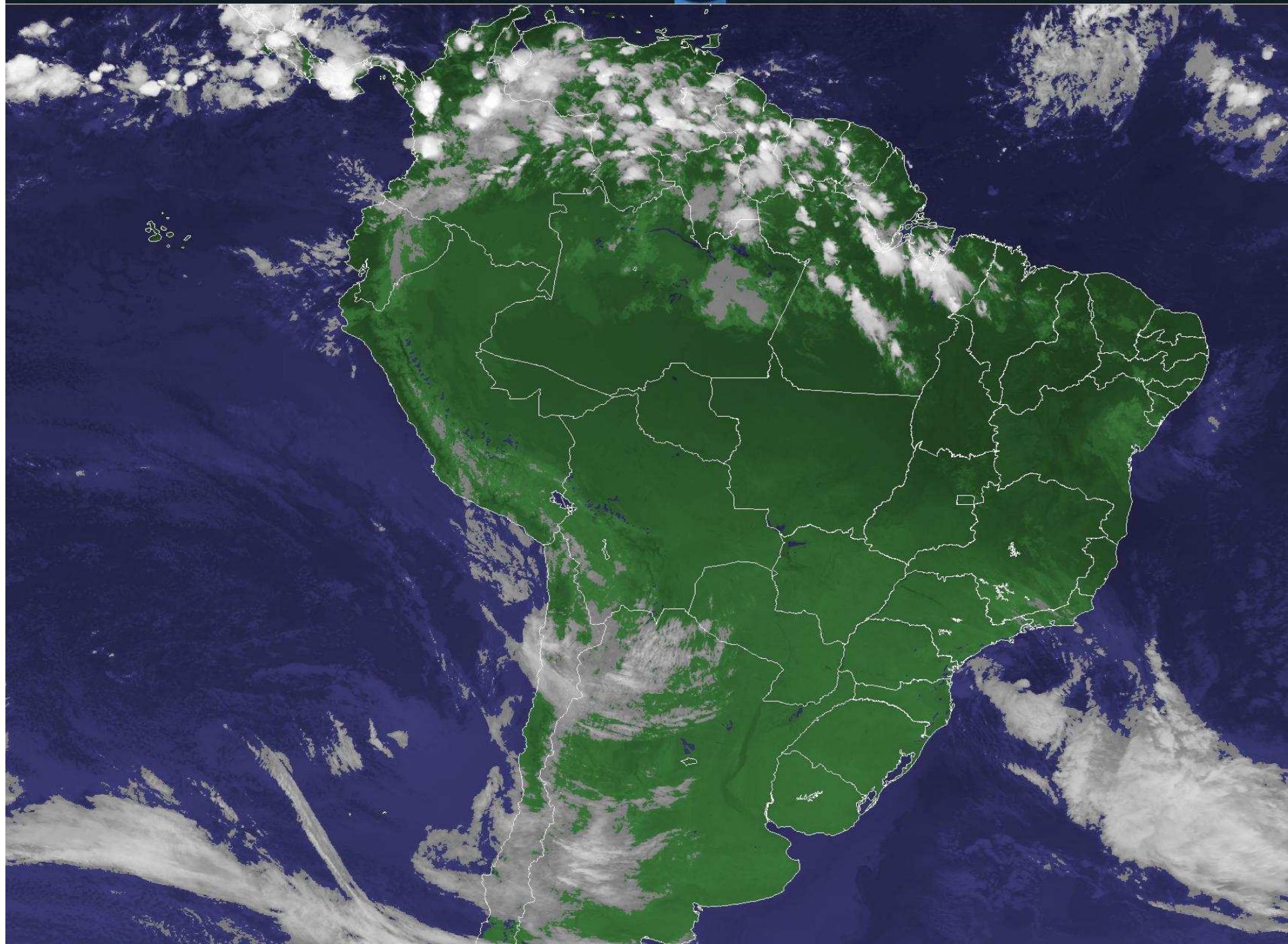
Mesa redonda
Sensoriamento remoto aplicado a agricultura

BELÉM, 2013



- ✓ Baixa temperatura
- ✓ Baixa umidade
- ✓ Ausência de vento

MASSA DE AR POLAR



Método *split-window* MODIS

$$TST = T_{31} + a(T_{31} - T_{32}) + b$$

onde:

TST é a temperatura estimada da superfície;

T_{31} e T_{32} são as temperaturas de brilho nas bandas
31(10,780–11,280 μ m) e 32(11,770–

12,270 μ m);

a e b são os coeficientes da equação .



Emissividade da superfície

Table 7. Statistics in band 31 for the fourteen emissivity classes showing the same parameters as those in table 6 but also showing the correlation coefficient between bands 31 and 32 (Corr.). Most of the classes have a high correlation between these two bands. The correlation for water is unity because with the approximations of our model, the surface roughness affects the reflectance equally for all wavelengths.

Emissivity class	Mean	16%	84%	Min.	Max.	Corr.
Gr. Ndle. Forest	0.989	—	—	—	—	—
Sn. Ndle. Forest	0.986	—	—	—	—	—
Gr. Bdlf. Forest	0.987	—	—	—	—	—
*Sn. Bdlf. Forest	0.968	—	—	—	—	—
Gr. Woody Savanna	0.988	—	—	—	—	—
Sn. Woody Savanna	0.975	—	—	—	—	—
Gr. Grass Savanna	0.987	—	—	—	—	—
*Sn. Grass Savanna	0.973	—	—	—	—	—
*Gr. Sparse Shrubs	0.972	—	—	—	—	—
*Sn. Sparse Shrubs	0.970	—	—	—	—	—
Water	0.991	—	—	—	—	—
Org. Bare Soil	0.977	—	—	—	—	—
*Arid Bare Soil	0.966	—	—	—	—	—
*Snow, Ice	0.988	—	—	—	—	—

* = Classes with a difference between the 16th and 84th percentile points that exceeds 0.02 (± 0.01) in one or both of bands 31 and 32.

Table 8. Statistics in band 32 for the fourteen emissivity classes showing the same parameters as those in table 7 but also showing the correlation coefficient between bands 31 and 32 (Corr.). Most of the classes have a high correlation between these two bands. The correlation for water is unity because with the approximations of our model, the surface roughness affects the reflectance equally for all wavelengths.

Emissivity class	Mean	16%	84%	Min.	Max.	Corr.
Gr. Ndle. Forest	0.991	− 0.001	0.003	0.978	0.994	0.99
Sn. Ndle. Forest	0.988	− 0.004	0.004	0.977	0.993	0.97
Gr. Bdlf. Forest	0.990	− 0.003	0.003	0.978	0.995	0.91
*Sn. Bdlf. Forest	0.971	− 0.012	0.007	0.958	0.990	0.98
Gr. Woody Savanna	0.991	− 0.003	0.003	0.978	0.996	0.97
Sn. Woody Savanna	0.978	− 0.010	0.009	0.959	0.994	0.99
Gr. Grass Savanna	0.991	− 0.002	0.003	0.977	0.996	0.92
*Sn. Grass Savanna	0.975	− 0.012	0.013	0.958	0.994	0.99
*Gr. Sparse Shrubs	0.976	− 0.009	0.013	0.932	0.993	0.95
*Sn. Sparse Shrubs	0.975	− 0.004	0.013	0.932	0.993	0.94
Water	0.986	− 0.002	0.002	0.984	0.989	1.0
Org. Bare Soil	0.982	− 0.005	0.007	0.965	0.991	0.95
*Arid Bare Soil	0.972	− 0.024	0.014	0.934	0.990	0.92
*Snow, Ice	0.977	− 0.016	0.013	0.949	0.991	0.90

* = Classes with a difference between the 16th and 84th percentile points that exceeds 0.02 (± 0.01) in one or both of bands 31 and 32.

MODIS usa tabela de tipos de vegetação



XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA e VII REUNIÓN LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA

Mesa redonda
Sensoriamento remoto aplicado a agricultura

BELÉM, 2013

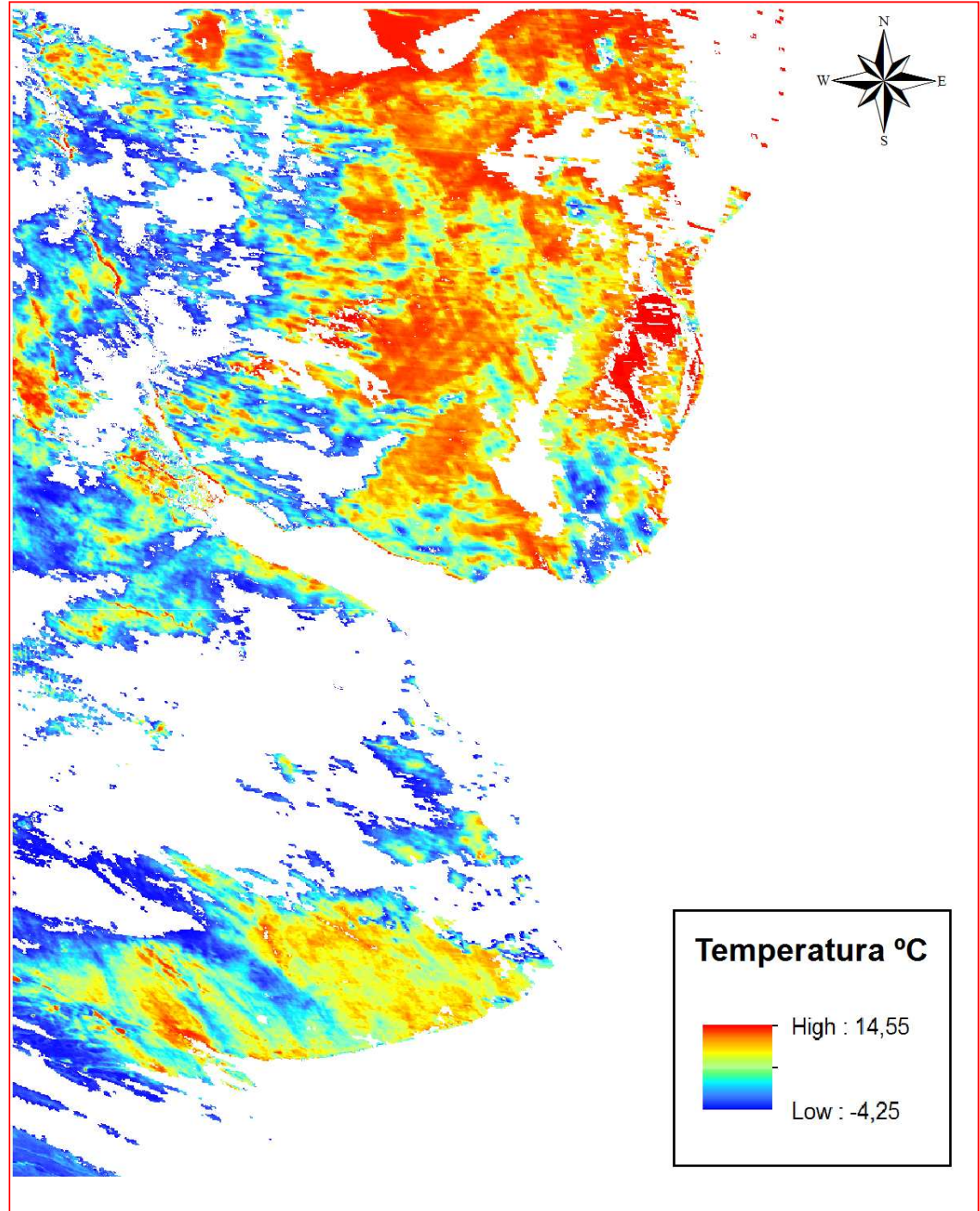
MYD11A1 MODIS/ACQUA

Pixel 1 km
Diária
Proj. Sinusoidal

Subconjuntos:

(*diurno e noturno*)

- TST
- Emissividade B31 e B32
- Qualidade
- Ângulo e hora de aquisição
- Máscara de nuvens



Estudo de caso: Mapa de frequência de ocorrência de Geadas

Imagens MYD11A1

Período: 2005 a 2012

Meses: junho/julho/agosto

Número de imagens: 934

Simões et al. (2013)

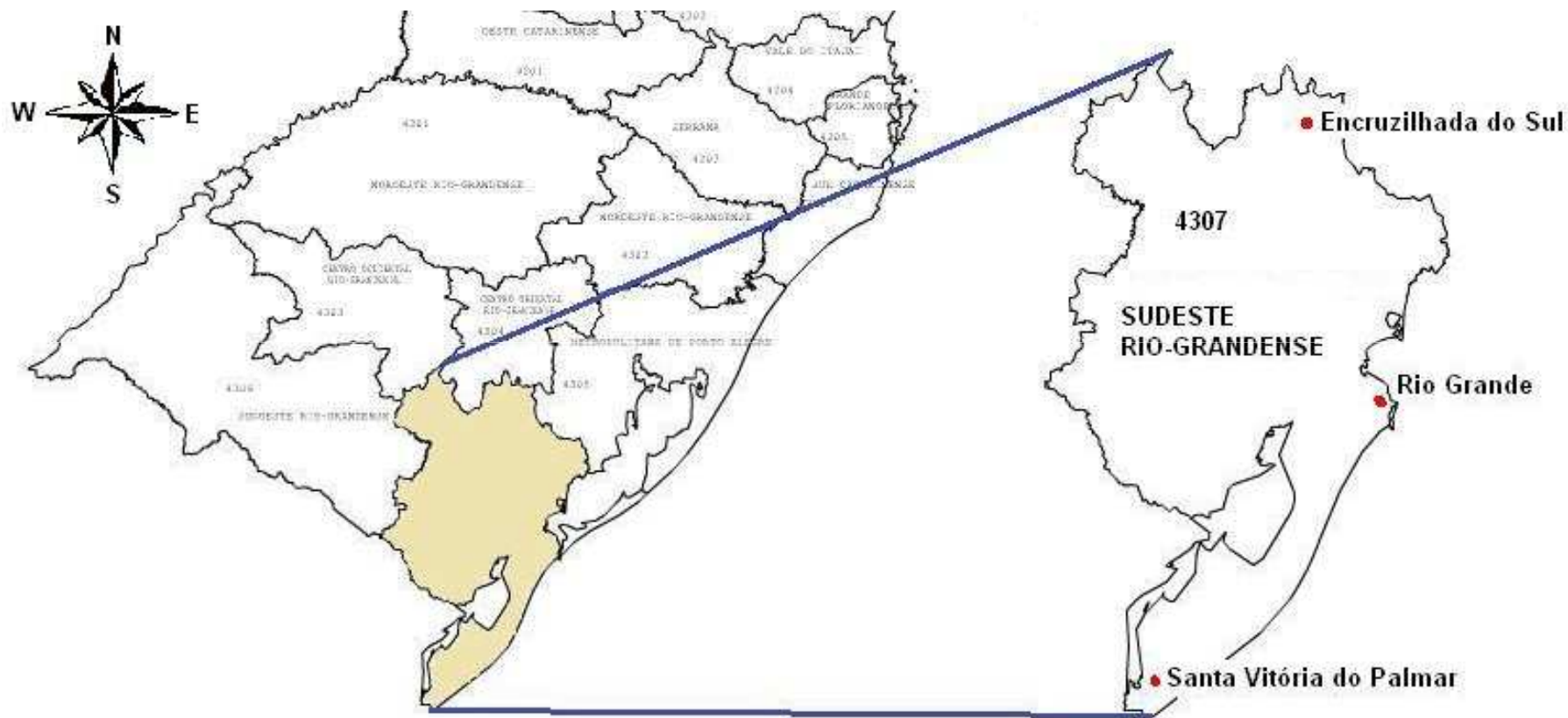


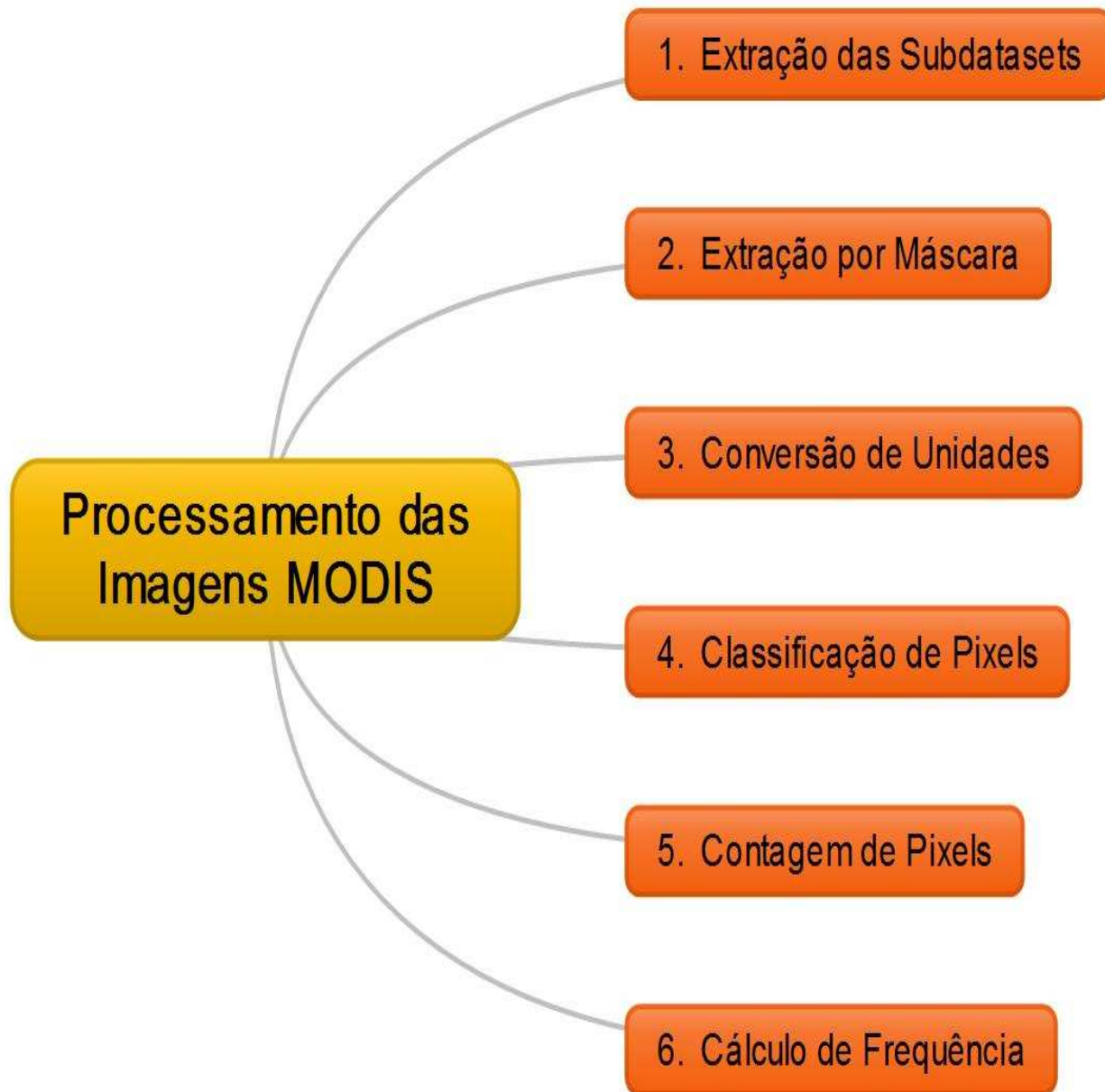
XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA e VII REUNIÓN LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA

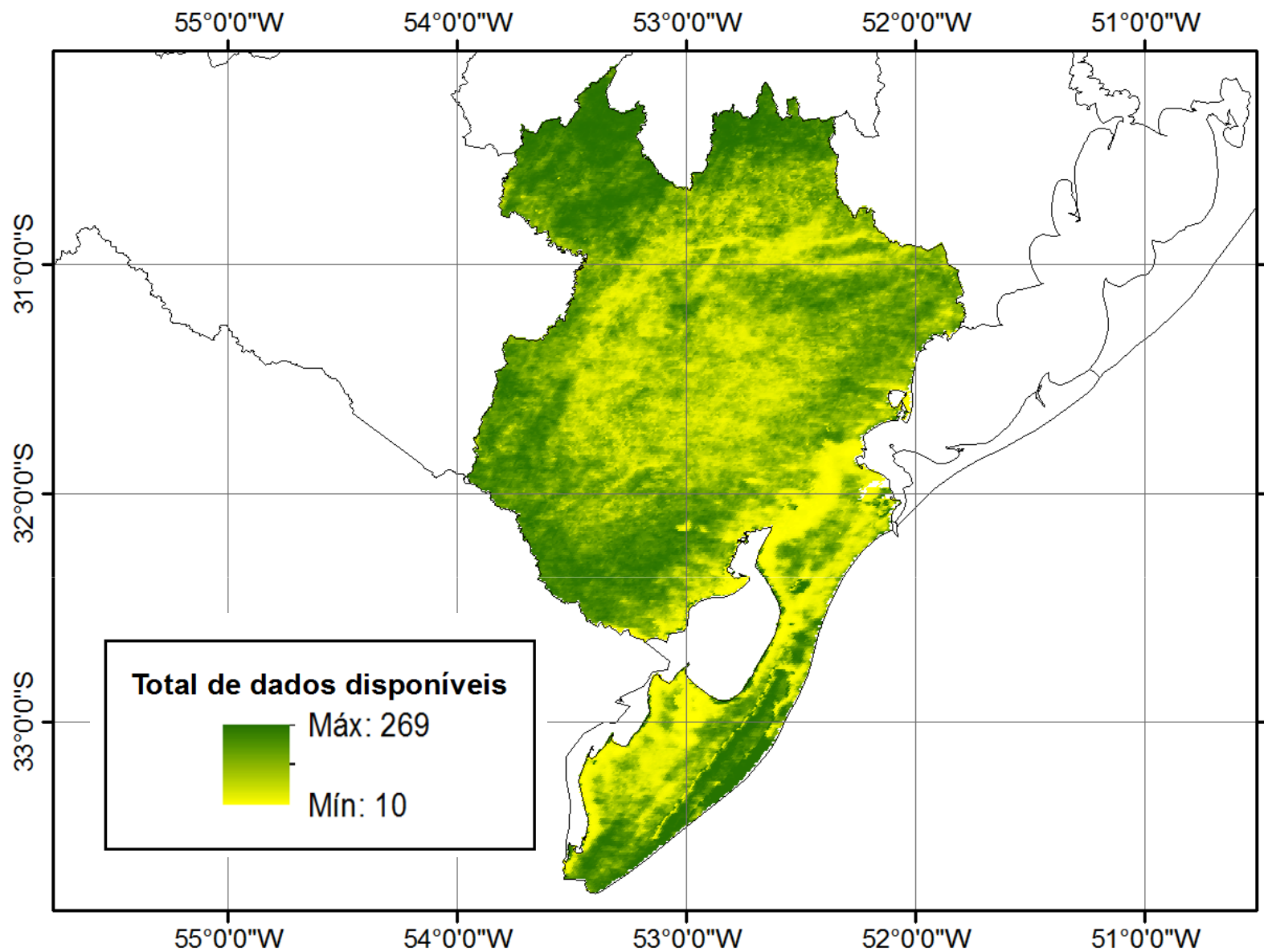
Mesa redonda
Sensoriamento remoto aplicado a agricultura

BELÉM, 2013

Área de estudo



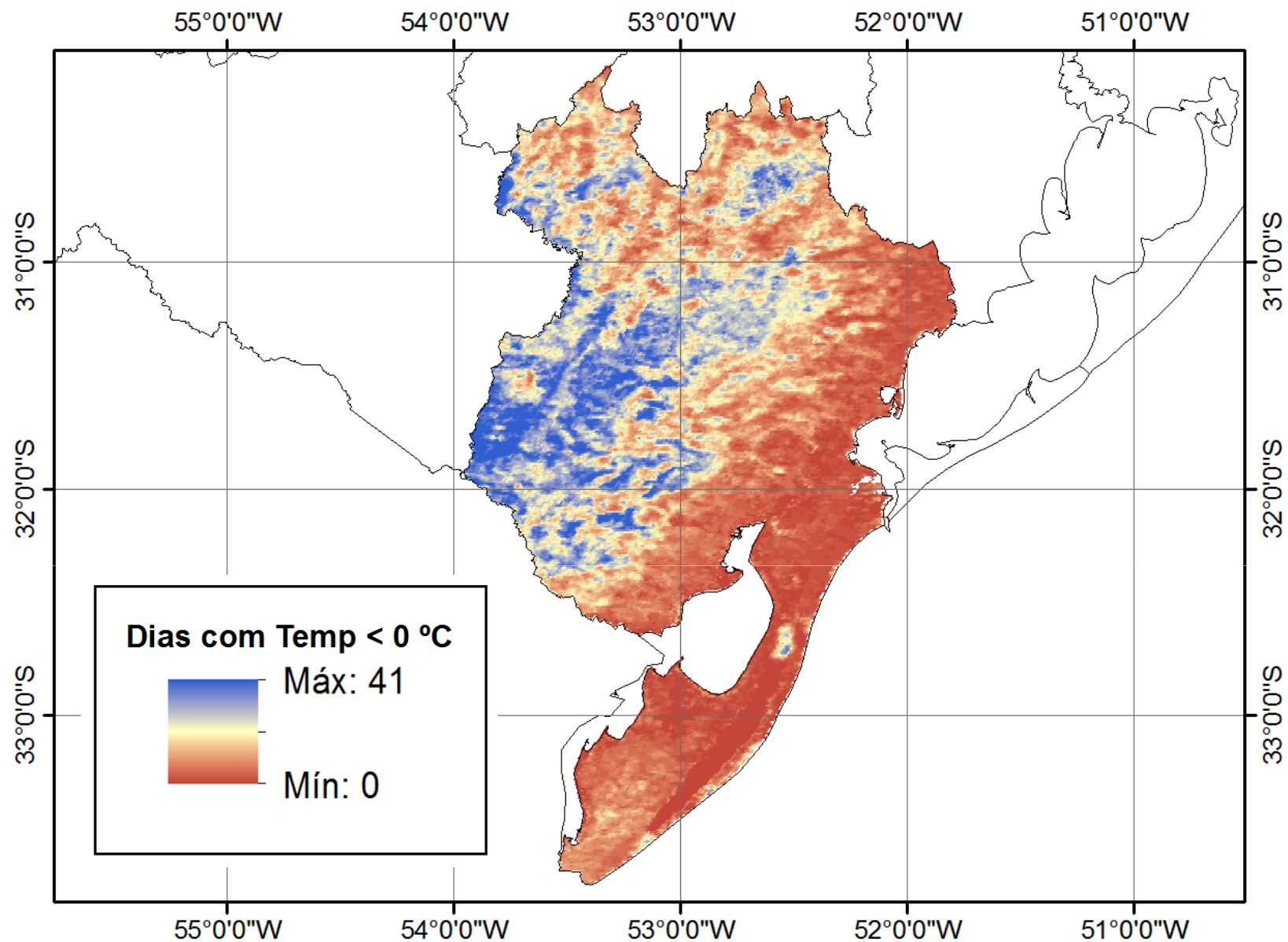




XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA e VII REUNIÓN LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA

Mesa redonda
Sensoriamento remoto aplicado a agricultura

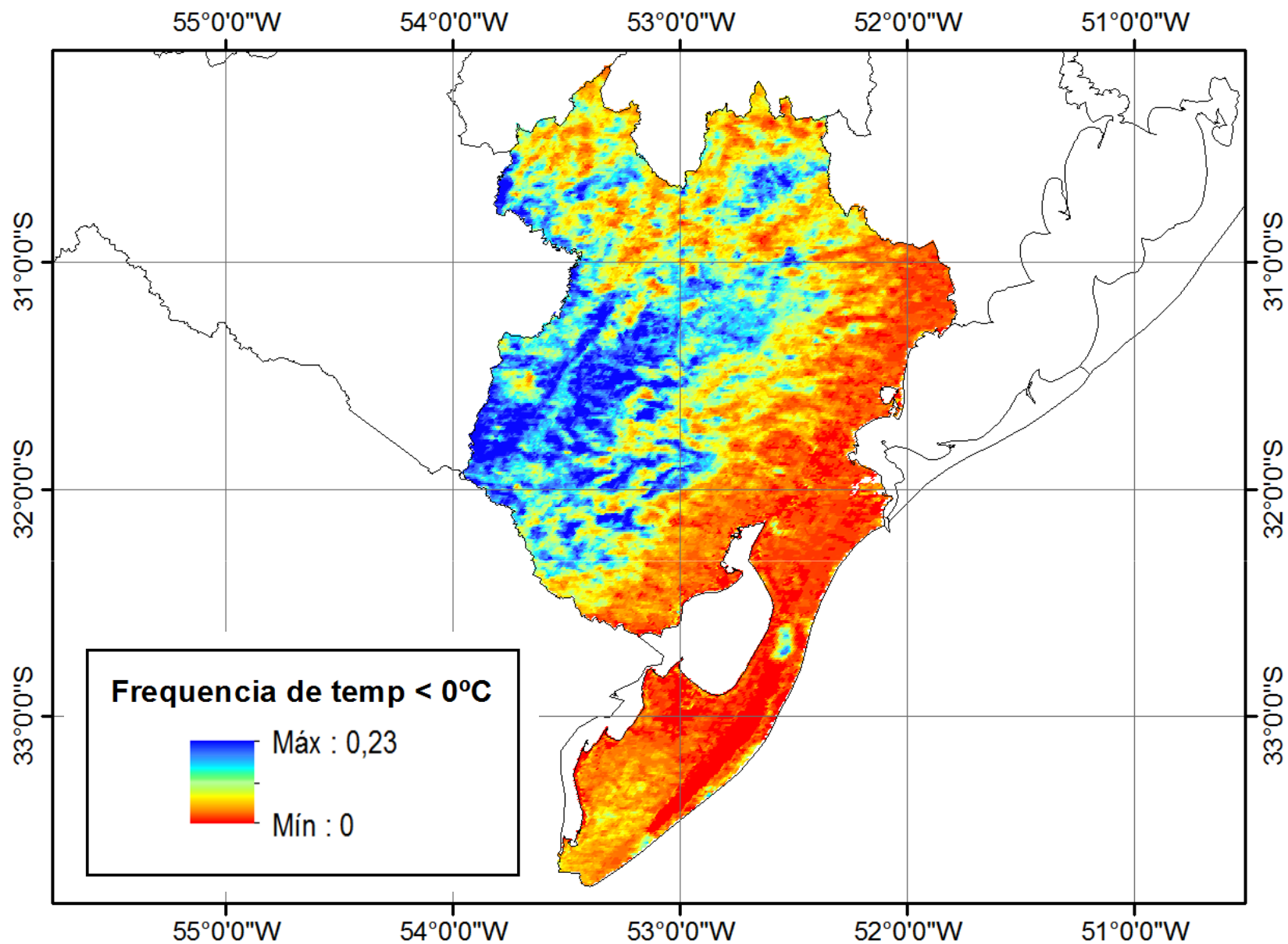
BELÉM, 2013



XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA e VII REUNIÓN LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA

Mesa redonda
Sensoriamento remoto aplicado a agricultura

BELÉM, 2013



XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA e VII REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA

Mesa redonda
Sensoriamento remoto aplicado a agricultura

BELÉM, 2013

Dados meteorológicos

BDMEP

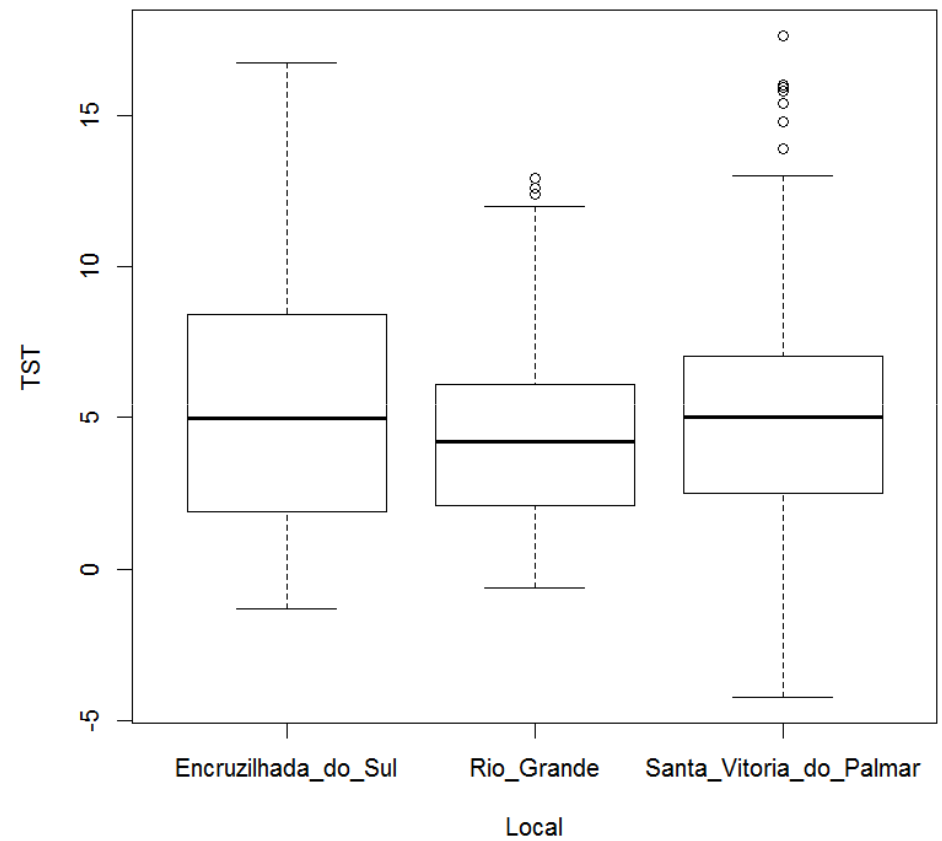
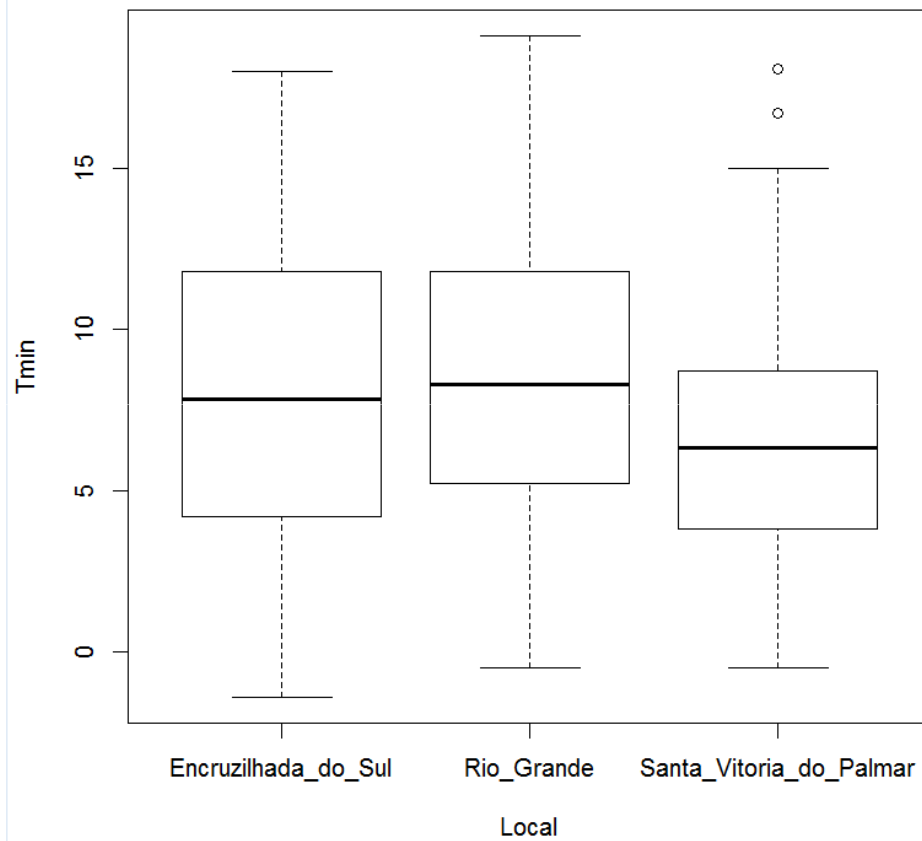
Meses: **junho, julho e agosto**

Anos: **2006 a 2012**

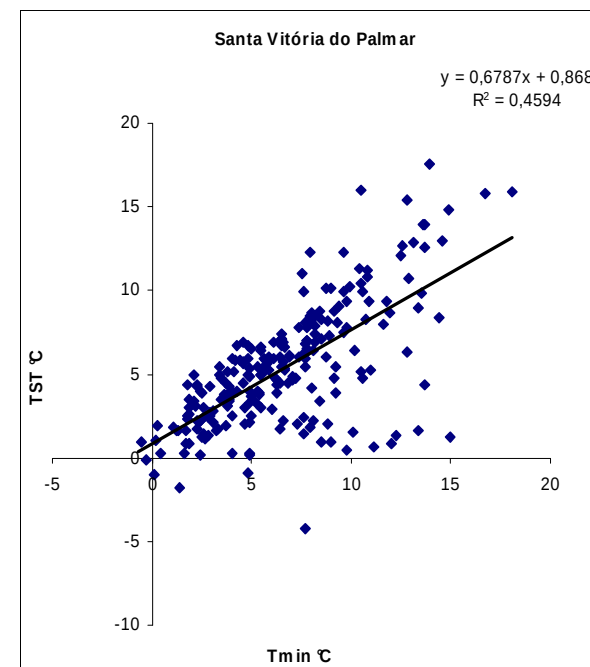
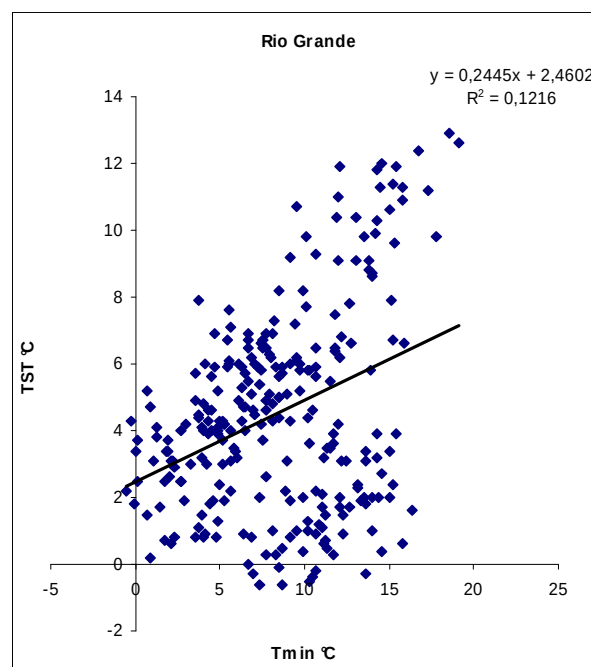
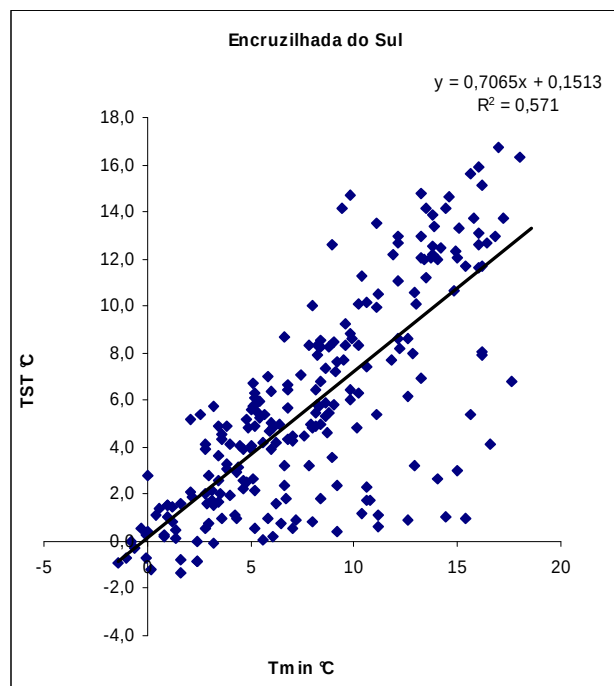
**Estações meteorológicas convencionais de superfície localizadas no
Sudeste Rio-grandense.**

Localidade	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Encruzilhada do Sul	427,75	-30°32'	-52°31'
Rio Grande	2,46	-32°02'	-52°07'
Santa Vitória do Palmar	24,01	-33°31'	-53°21'

Resultados



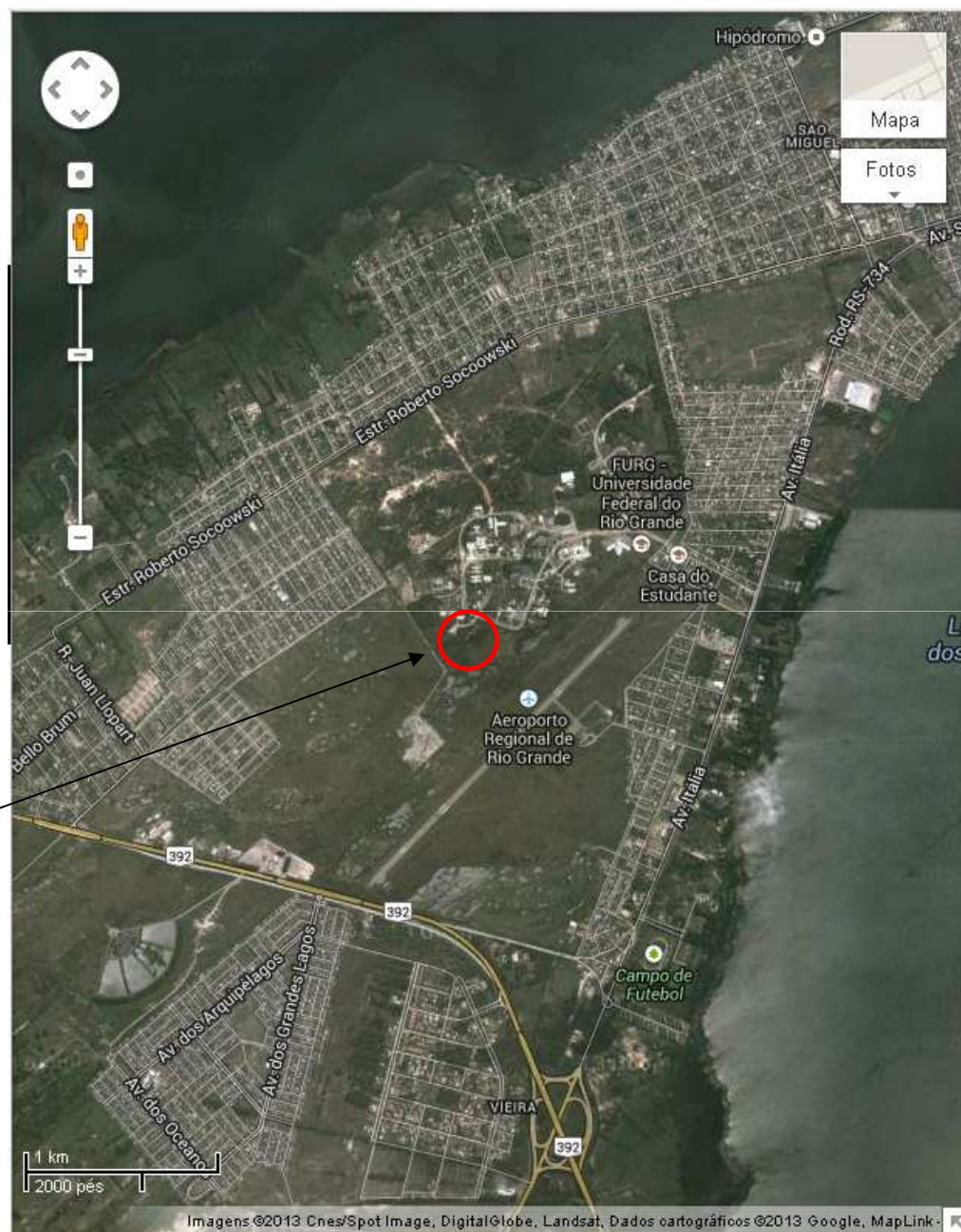
Resultados



Rio Grande

Causa provável: mistura no pixel

Estação
meteorológica
da FURG



Principais incertezas.....

- ✓ Decorrentes:
 - Calibração do sensor
- ✓ Decorrentes do método de obtenção do produto:
 - Interferência atmosférica
 - Determinação da emissividade
- ✓ Decorrentes das avaliações – (ex. Tmin):
 - Grandezas distintas
 - Altura de determinação
 - Horário de medição

