

A Detecção Remota como instrumento de monitorização de saúde pública

Diogo Ayres Sampaio, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, FCUP

A Detecção Remota como um instrumento de gestão e apoio à decisão

13 de Março 2012

Introdução

- No últimos anos, a Detecção Remota tem sido utilizada em estudos epidemiológicos;
- Imagens de sensores como o AVHRR, a bordo dos satélites NOAA, ou como o TM, a bordo do satélite Landsat, têm servido de ferramenta para a modelação da distribuição espacial de várias doenças, ou do hospedeiro intermediário;
- Doenças como a malária, a tripanossomíase ou a febre catarral têm sido estudadas com sucesso, utilizando este tipo dados;
- Os dados recolhidos por satélite têm também sido utilizados para estudos de qualidade do ar.



Introdução - Malária

- É uma doença transmitida pela picada de um mosquito e é uma das principais causas de morte em Africa;
- A distribuição de um agente patogénico transmitido eficientemente é, normalmente, limitada pela distribuição do vector que o transmite;
- Uma vez que o desenvolvimento das populações de mosquitos varia consoante a temperatura e humidade do solo, as imagens obtidas por sensores de DR permitem estabelecer uma forte previsão dos padrões de distribuição desta doença.



Introdução - Malária

- Em 2002 Rogers *et al.** realizaram um estudo sobre a malária em Africa, recorrendo a imagens da temperatura do solo e do ar, NDVI (AVHRR), e precipitação (Meteosat) para mapear a distribuição de cinco espécies de mosquitos;
- Foi encontrada também uma relação entre o número de admissões mensais de crianças com malária em três hospitais no Quênia e o NDVI do mês anterior ($R^2 = 0.71$);
- A duração da época de transmissão da malária pode ser prevista no Quênia contando os meses em que existem valores de NDVI que excedam 0.35 – 0.40.

*Rogers, D.J. *et al.* (2002) Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature* 415, 710–715



Introdução - Malária

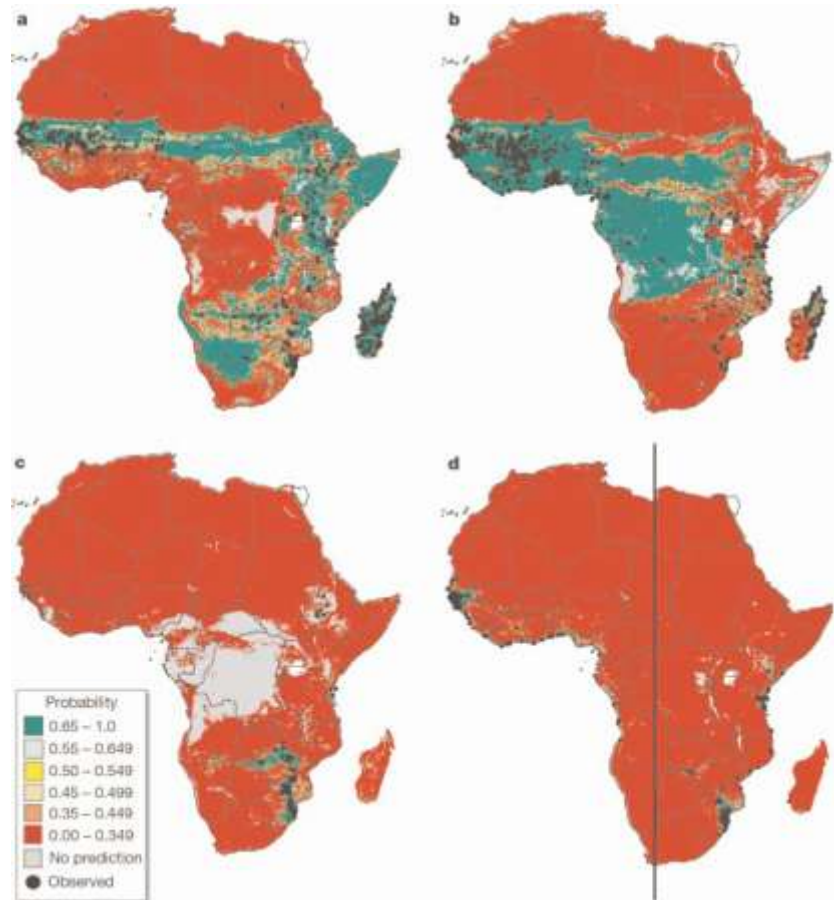


Fig. 1: Distribuição de cinco espécies de mosquitos *Anopheles gambiae* em África. a) *A. arabiensis* ($\kappa = 0.68$); b) *A. gambiae* s.s. ($\kappa = 0.83$); c) *A. quadriannulatus* ($\kappa = 0.96$); d) *A. melas* (Oeste de África) ($\kappa = 0.93$), *A. merus* (Este de África) ($\kappa = 0.98$).

Introdução - Malária

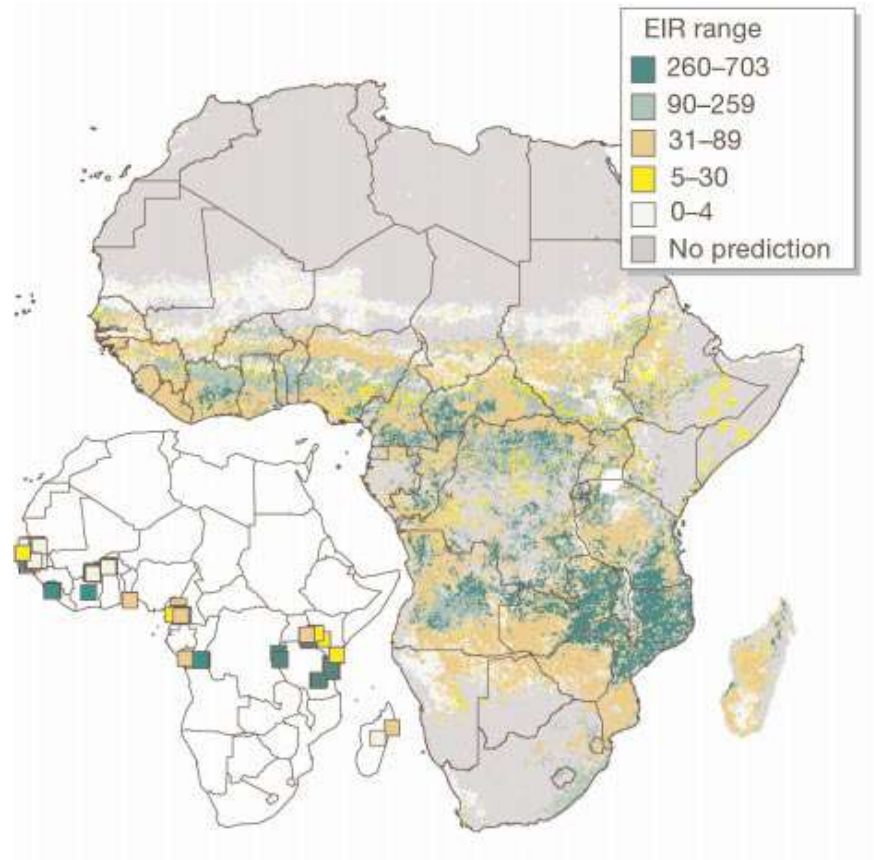


Fig. 2: Previsão do *Entomological Inoculation Rate* (EIR) através de imagens de satélite.

Introdução – Febre Catarral

- Febre catarral (ou língua azul) é uma doença infecciosa, transmitida pela picada de mosquitos da espécie *Culicoides*, que afecta todos os ruminantes conhecidos;
- A febre catarral ocorre em várias zonas do mundo e estima-se que cause perdas anuais na ordem dos 3 biliões de dólares;
- Em 2002 Tatem *et al.** realizaram um estudo no qual utilizaram imagens de satélite, juntamente com dados da presença e abundância de *Culicoides imicola* (o maior vector de transmissão do vírus) em Portugal para a criação modelos de previsão em Portugal e no resto da Europa.

*Tatem, A.J. *et al.* (2003) Prediction of bluetongue vector distribution in Europe and north Africa using satellite imagery . *Veterinary Microbiology* 97, 13–29

Introdução – Febre Catarral

- Foram utilizadas combinações de 41 variáveis extraídas de imagens de satélite (AVHRR) para modelar a presença e abundância de *C. imicola*;
- Para o modelo de presença/ausência 9 das 41 variáveis foram incluídas na previsão, enquanto que para o modelo de abundância foram utilizadas apenas 7;
- Das variáveis utilizadas destacam-se a reflectância no infravermelho médio, o NDVI e a temperatura do solo e do ar;
- A precisão dos modelos foi avaliada pelo coeficiente kappa, sendo este igual a 0.91, para o modelo da presença/ausência, e 0.88, para o modelo de abundância.

Introdução – Febre Catarral

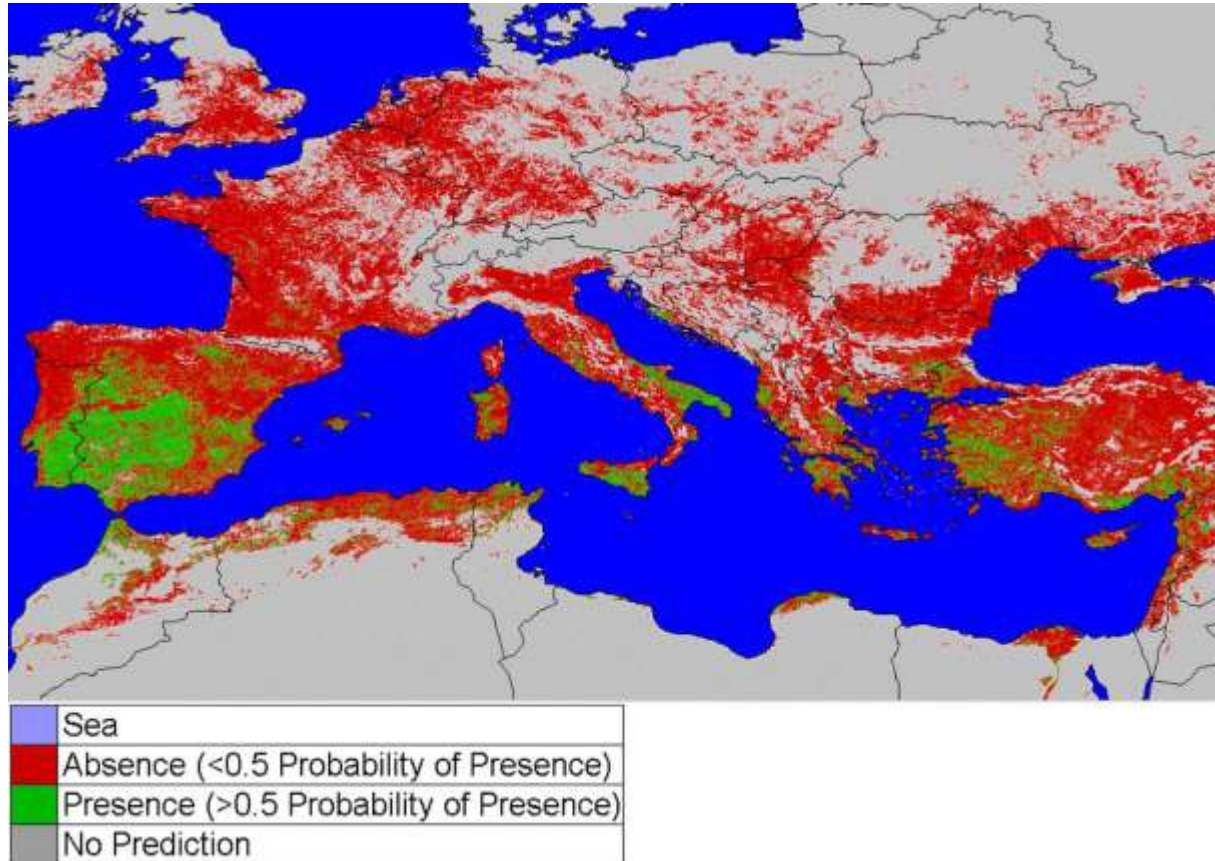


Fig. 3: Presença/ausência de *C. imicola* na zona do Mediterrâneo, previsto por um modelo derivado das observações de presença/ausência realizadas em 87 locais de Portugal.

Introdução – Febre Catarral

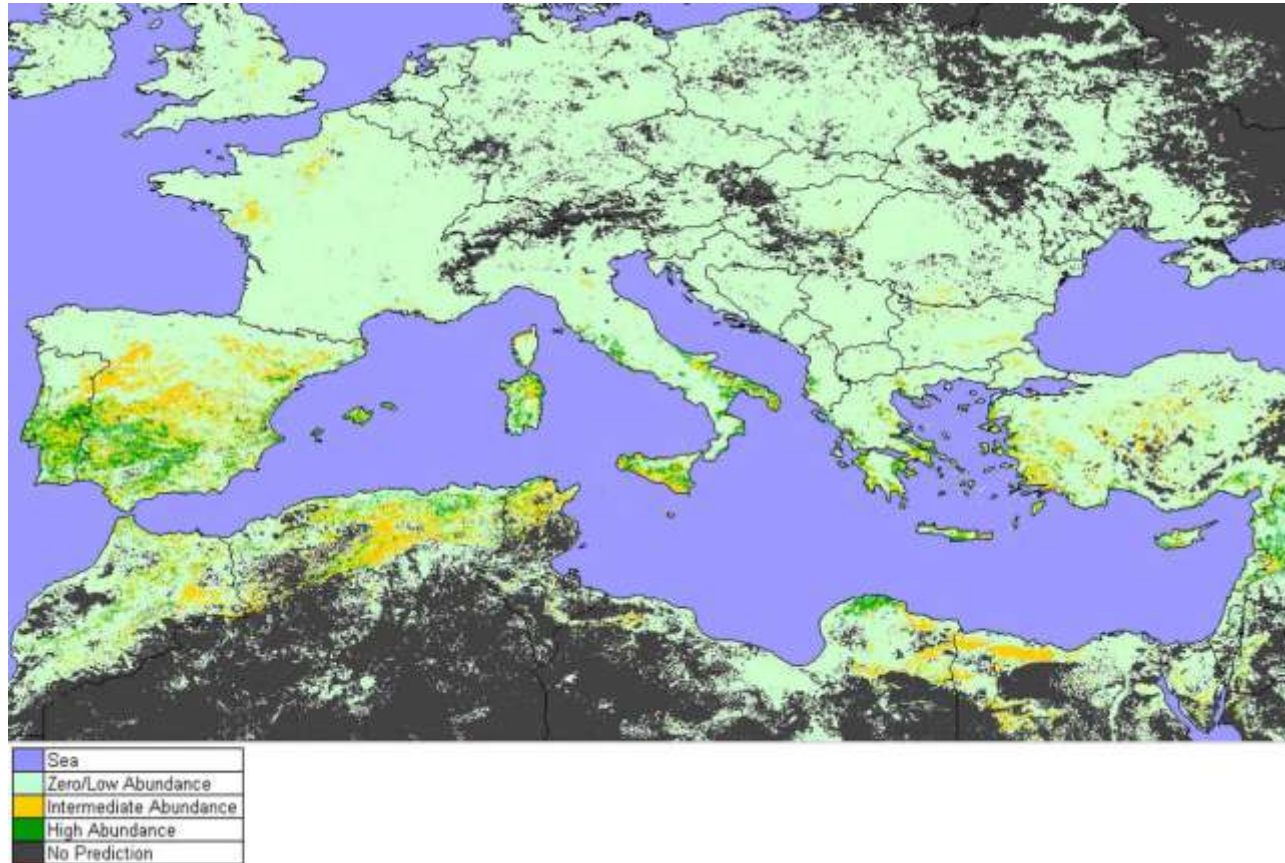


Fig. 4: Abundância de *C. imicola* na zona do Mediterrâneo, previsto por um modelo derivado das observações de abundância realizadas em 87 locais de Portugal.

Objectivos

- Verificar a existência de alguma relação entre parâmetros ambientais, obtidos a partir de observações de satélite, e a ocorrência de internamentos hospitalares devido a surtos de asma, em Portugal continental no período entre 2000 e 2010;
- Pretende-se, posteriormente, estender a análise a outros tipos de doenças que sejam (ou possam ser) influenciadas por factores ambientais.



Asma

- A asma é uma doença inflamatória crónica das vias aéreas que leva a episódios recorrentes de pieira, dificuldade respiratória, aperto torácico e tosse particularmente nocturna e no início da manhã;
- A asma afecta cerca de 300 milhões de pessoas em todo o mundo*;
- Factores ambientes que influenciam a manifestação da asma*:
 - Alergénios, como os ácaros domésticos, animais de pêlo, baratas, pólen e fungos;
 - Infecções virais;
 - Fumo do tabaco;
 - Poluição atmosférica;
 - Factores climáticos;
 - Hábitos alimentares.

*National Guideline, C. "Global strategy for asthma management and prevention." <http://www..guideline.gov> (Visitado em Março de 2012).

Características do estudo

- Área de estudo:
 - Portugal Continental;
- Intervalo de tempo:
 - De 2000 a 2010;
- Dados:
 - Internamentos em Hospitais públicos (é conhecida a Freguesia do doente);
 - NOAA *Climate Online Data*;
 - Base de Dados Online da Qualidade do Ar (QualAr).



Fig. 5: Portugal Continental (Google).

Dados de satélite relevantes

Origem	Período	Resolução espacial	Parâmetros	Resolução temporal
MODIS Terra/Aqua	2000-	250 m	NDVI	16 dias
		1 km	Temperatura do solo	1 dia (dia e noite)
		500 m	Áreas ardidas	1 mês
		5 km	Moisture	1 dia (dia e noite)
		5 km	Temperatura do ar	1 dia (dia e noite)
		5 km	Pressão atmosférica	1 dia (dia e noite)
		10 km	Aerosol Optical Thickness (AOT)	1 dia (dia e noite)
MERIS ENVISAT	2001-	500 m	Ocupação do solo	1 ano
SCIAMACHY ENVISAT	2002-	60 x 30 km	NO ₂ , HCHO, SO ₂ , CO, O ₃	3 dias
GOME ERS-2	1995-2003	320 x 40 km	NO ₂ , HCHO, SO ₂ , O ₃	
MOPITT Terra	2000-	22 km	CO	1 dia
MISR Terra	2000-	18 km	AOT	
AIRS Aqua	2002-	14 km	SO ₂ , CO	
OMI Aura	2004-	24 x 13 km	NO ₂ , HCHO, SO ₂ , O ₃ , AOT	
TES Aura	2004-	8 x 5 km	CO, O ₃	
PARASOL	2004-	18 x 16 km	AOT	
GOME-2 MetOP	2006-	80 x 40 km	NO ₂ , HCHO, SO ₂ , O ₃	
IASI MetOp	2006-	12 x 12 km	CO, O ₃	
SRTM	N/A	90 m	DEM	



Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

- Existem dois sensores MODIS a bordo de satélites da NASA:
 - Satélite Terra (data de lançamento: 18 de Dezembro de 1999);
 - Satélite Aqua (data de lançamento: 4 de Maio de 2002);
- Realiza observações em 36 bandas espectrais, cobrindo comprimentos de onda entre 0.4 μm e 14.5 μm , e em 3 resoluções espaciais: 250 m, 500 m e 1000 m;
- A combinação dos dados recolhidos pelo Terra MODIS e pelo Aqua MODIS permite que exista uma cobertura global a cada 1-2 dias;
- Permite gerar vários tipos de produtos por abranger várias zonas do espectro electromagnético.



Parâmetros MODIS

- Perfis de temperatura e *moisture* do ar, pressão atmosférica à superfície e vapor de água (MOD07_L2 / MYD07_L2):
 - Resolução Espacial: 5 km;
 - Resolução Temporal: 1 dia (dia e noite).
- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (MOD13/ MYD13):
 - Resolução Espacial: 250 m/ 500 m/ 1 km;
 - Resolução Temporal: 16 dias/ 16 dias/ 16 dias e 1 mês.
- Áreas ardidadas (MCD45A1):
 - Resolução Espacial: 500 m;
 - Resolução Temporal: 1 mês.

Parâmetros MODIS

- Aerossóis (MOD04_L2):
 - Resolução Espacial: 10 km;
 - Resolução Temporal: 1 dia
- Tipo de ocupação de solo (MCD12Q1):
 - Resolução Espacial: 500 m;
 - Resolução Temporal: 1 ano.

Perfis de Temperatura e *moisture* do ar

- O algoritmo utiliza medidas de radiância em 11 bandas térmicas (entre 4.5 μm e 14.2 μm) efectuadas em *clear-sky*, sobre terra e oceano, e é baseado numa regressão estatística;
- Os coeficientes da regressão são calculados com base num modelo de rápida transferência radiativa, que recebe como *input* dados de um conjunto de radiossondas com distribuição global;
- A validação é realizada com base em dados recolhidos na *Atmospheric Radiation Measurement-Cloud and Radiation Testbed* (ARM-CART) em Oklahoma;
- Os perfis são dados com 20 níveis de pressão, entre 1000 hPa e 5 hPa.



Temperatura do ar

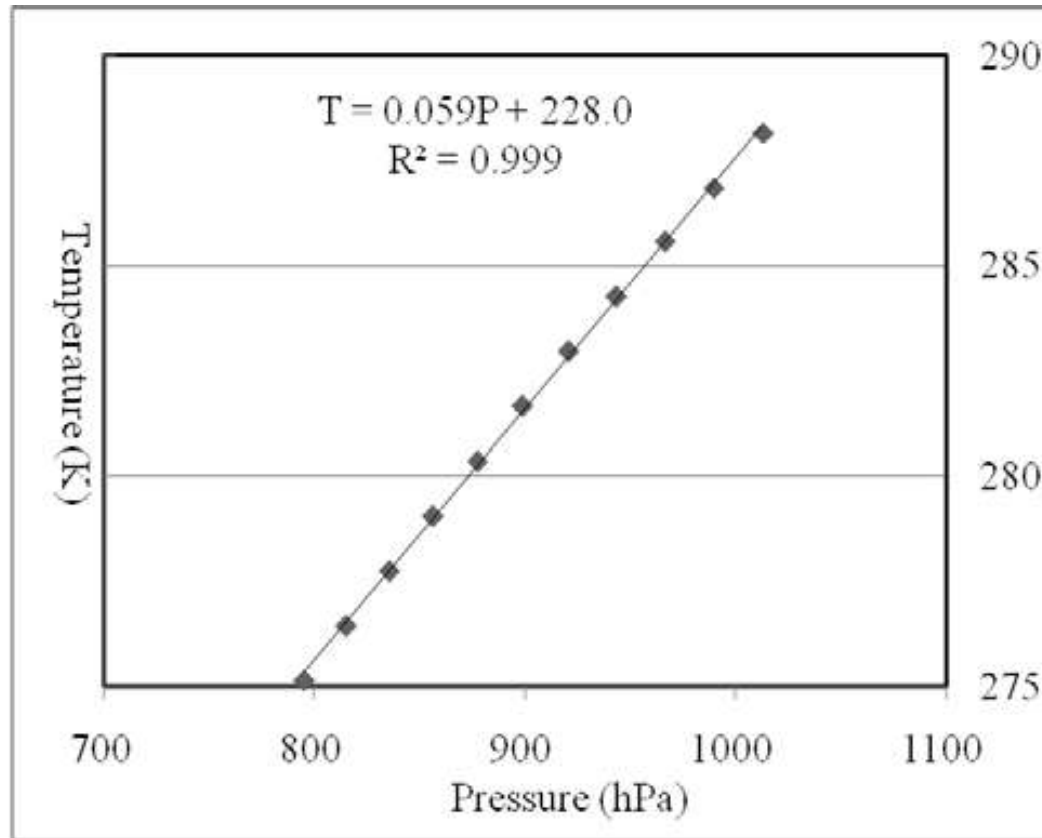


Fig. 6: Relação linear entre a pressão atmosférica e a temperatura do ar abaixo dos 2000 m de altitude, de acordo com a U.S 1976 Standard Atmosphere (Chen *et al*, 2011).

Temperatura do ar

A temperatura do ar à superfície (T_{sup}) pode ser determinada por interpolação, utilizando o perfil de temperatura dado pelo MODIS:

- Compara-se a pressão à superfície (P_{sup}) com o nível de pressão mais baixo dado pelo MODIS ($P_1 = 1000$ hPa);
- Se $P_{sup} > P_1$, então compara-se com o nível seguinte (P_2);
- O passo anterior repete-se até ser encontrado um P_i maior que P_{sup} ;
- A temperatura do ar à superfície (T_{sup}) é calculada pela expressão:

$$T_{sup} = (P_{sup} - P_i) \times R_T + T_i, \quad i = 1, \dots, 20. \quad (1)$$

Em que, R_T (0.059 K/hPa – Fig. 1) é o gradiente da temperatura do ar na camada inferior da atmosfera e T_i a temperatura do ar à pressão P_i .

Temperatura do ar

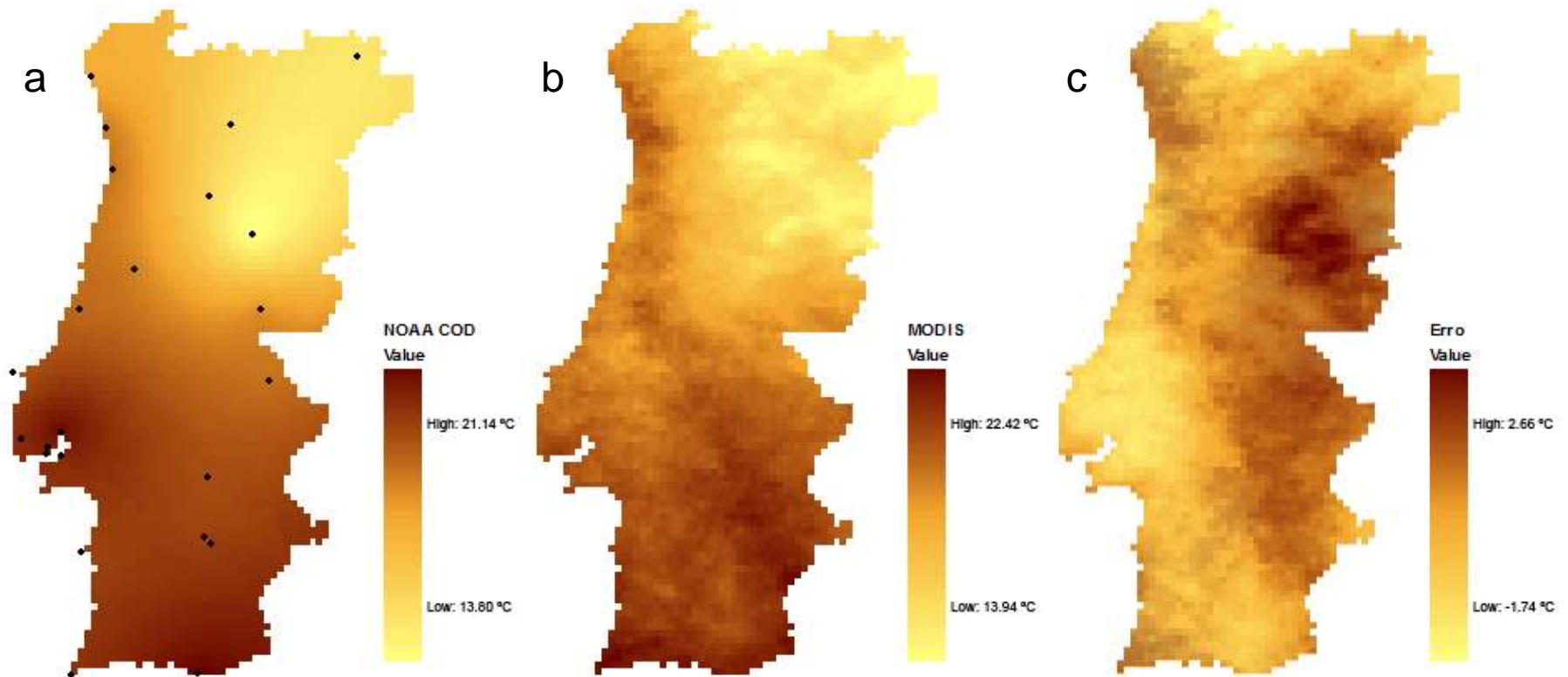


Fig. 7: a) Temperatura do ar gerada por interpolação *kriging* de dados mensais de estações meteorológicas (pontos pretos). b) Temperatura do ar obtida pelos dados MODIS. c) Subtração entre a imagem a e b (EMQ = 0.96 °C). Os dados referem-se a Outubro de 2009.

Humidade relativa do ar

- A humidade relativa do ar pode ser determinada a partir da temperatura e do *moisture* do ar;
- O *moisture* refere-se à quantidade de vapor de água na atmosfera ou ao total de água, em estado líquido, sólido ou gasoso, num dado volume de ar;
- A temperatura *dew point* é uma medição do *moisture* no ar e é a temperatura a que o ar tem que ser arrefecido de forma a alcançar a saturação (assumindo que a pressão do ar e a quantidade de *moisture* são constantes);



Humidade relativa do ar

- Como é referido por Reitan (1963), existe uma relação entre a temperatura *dew point* à superfície e a coluna total de vapor de água;
- Para estabelecer essa relação para Portugal, utilizaram-se médias mensais de *dew point* à superfície, medidas em estações meteorológicas (disponíveis no NOAA *Climate Online Data*), e médias mensais de vapor de água, calculadas a partir dos dados MODIS.



Humidade relativa do ar

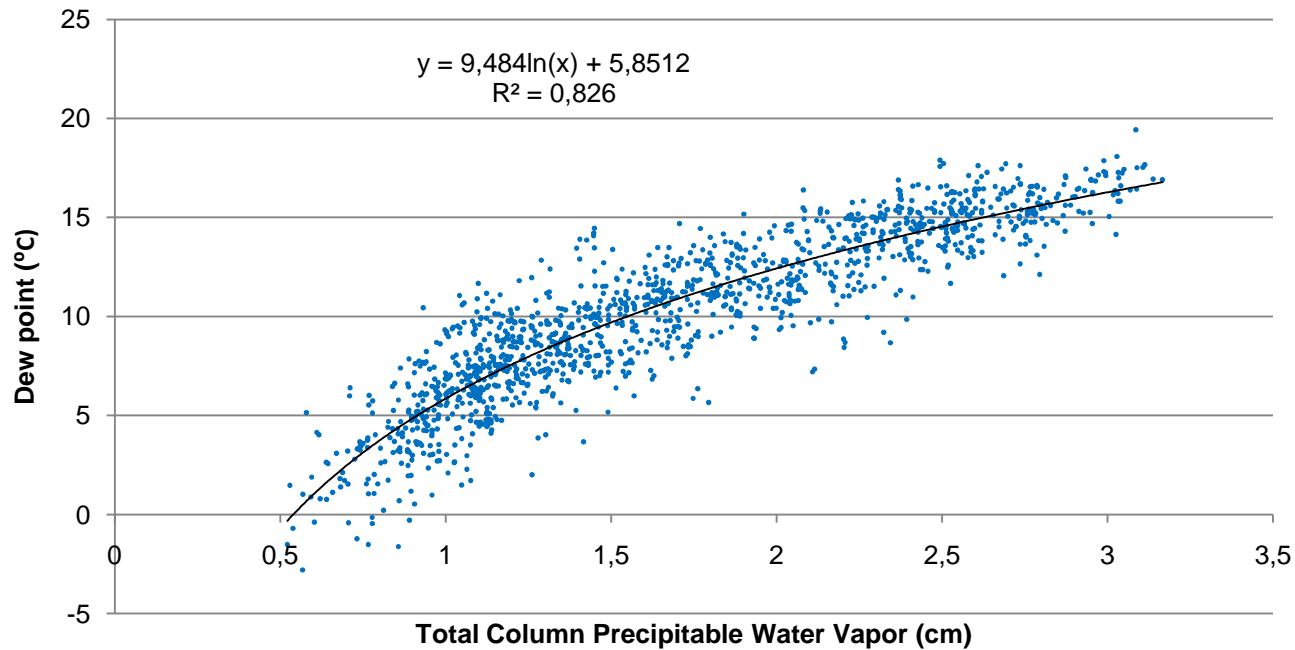


Fig. 8: Relação entre a temperatura *dew point* à superfície e a coluna total de vapor de água (médias mensais entre 2003 e 2006).

Humidade relativa do ar

A humidade relativa (RH) pode então ser determinada pela seguinte expressão:

$$RH = \frac{e_a}{e_s} \times 100 \quad (2)$$

sendo o *actual vapor pressure* e_a e o *saturated vapor pressure* e_s dados por:

$$e_a = e \left[\frac{17.67 \times T_d}{T_d + 243.5} + \ln 6.112 \right] \quad (3)$$

$$e_s = 6.112 \times e \left(\frac{17.67 \times T}{T + 243.5} \right) \quad (4)$$

em que, T e T_d são, respectivamente a temperatura do ar e a temperatura *dew point* à superfície.



Humidade relativa do ar

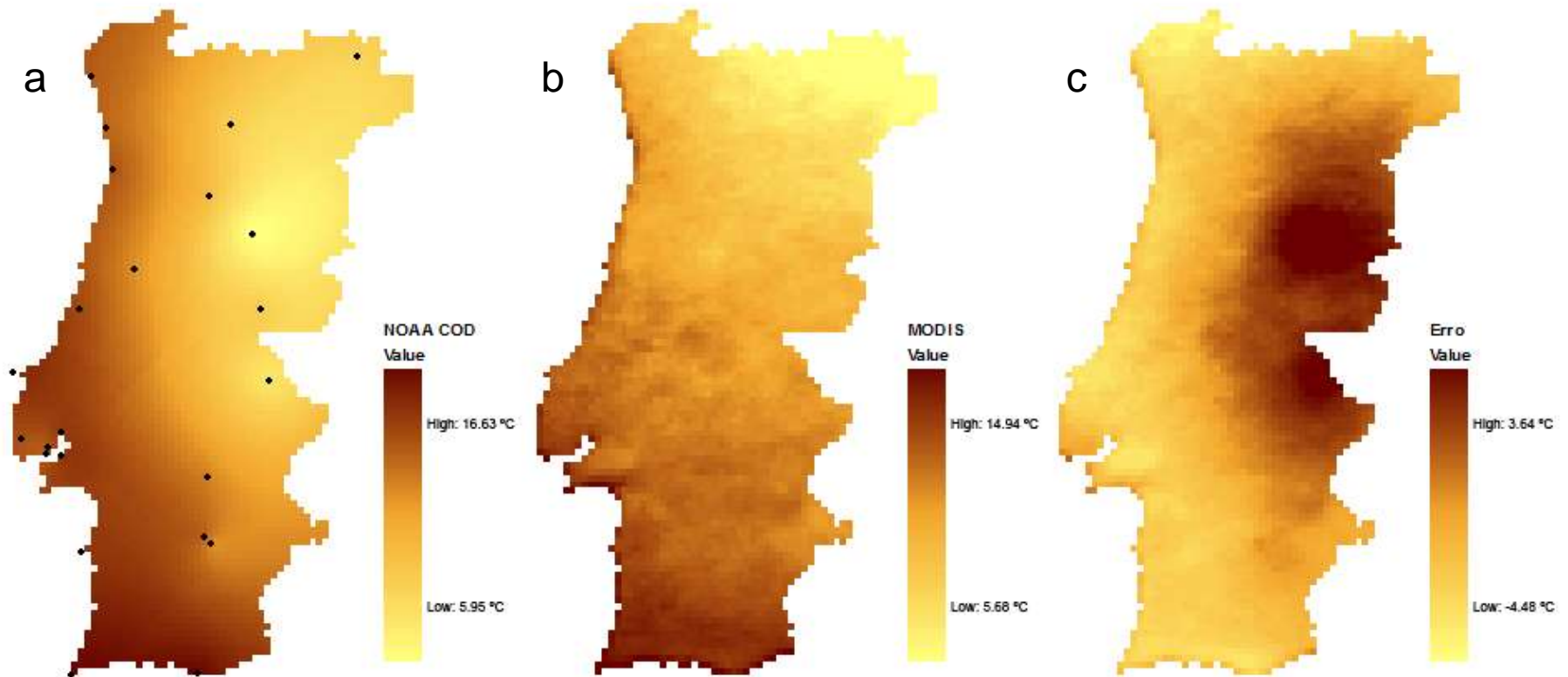


Fig. 9: a) Temperatura *dew point* gerada por interpolação *kriging* de dados mensais de estações meteorológicas (pontos pretos). b) Temperatura *dew point* obtida pelos dados MODIS. c) Subtração entre a imagem a e b (EMQ = 2.04 °C). Os dados referem-se a Outubro de 2009.

Humidade relativa do ar

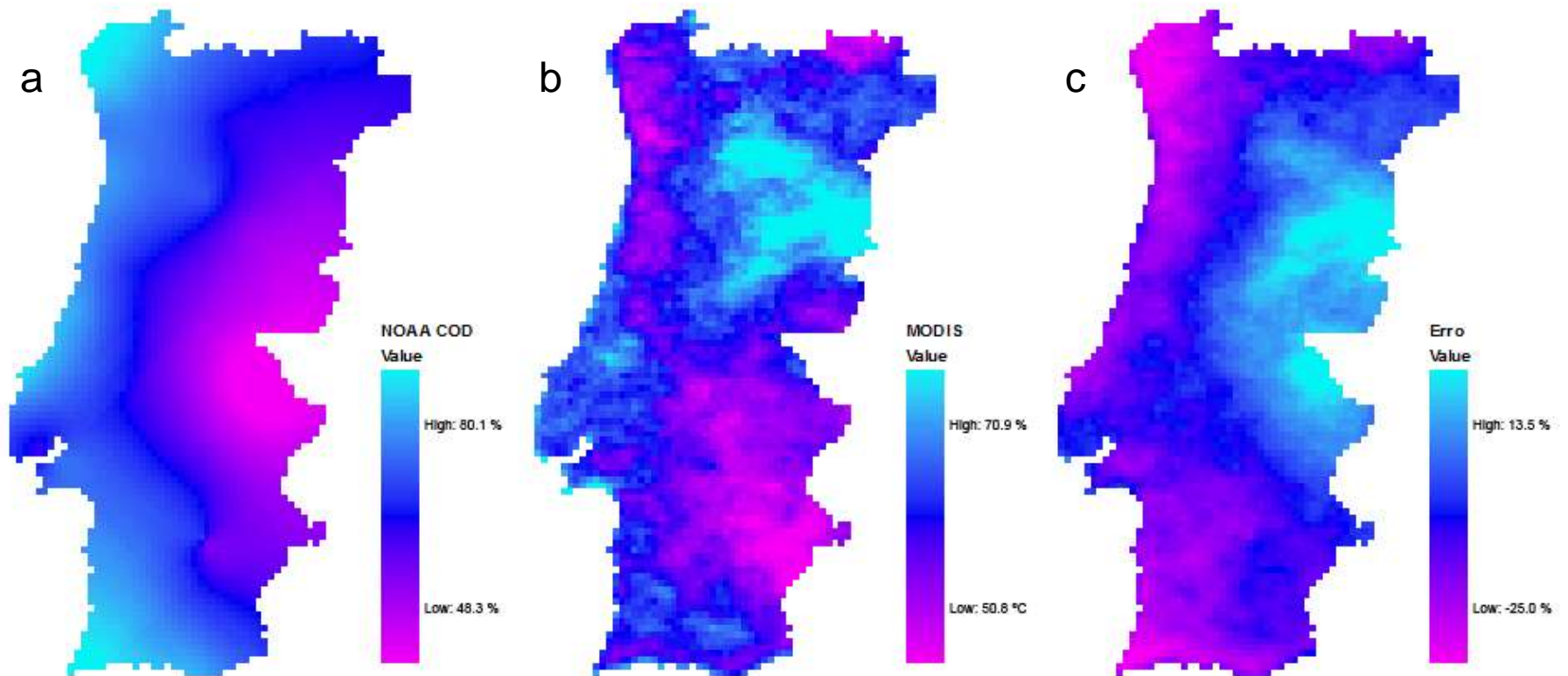


Fig. 10: a) Humidade relativa do ar gerada por interpolação *kriging* de dados mensais de estações meteorológicas. b) Humidade relativa do ar obtida pelos dados MODIS. c) Subtração entre a imagem a e b (EMQ = 10.0 %). Os dados referem-se a Outubro de 2009.

Pressão atmosférica

- A pressão atmosférica dada pelo sensor MODIS é calculada por interpolação bilinear do modelo *National Centers for Environmental Prediction – Global Data Assimilation System* (NCEP GDAS);
- Como se trata de um produto com calibração global, algumas zonas podem não ser modeladas correctamente;
- Contudo, entre 2003 e 2006, verificou-se que o erro do valor da pressão de cada estação dado pelas imagens de satélite mantém-se constante (desvio padrão médio de 2 hPa) ao longo do intervalo de tempo;
- Assim, pequenas variações de pressão nas estações são também reflectidas nas imagens de satélite.

NDVI

- Consiste na diferença normalizada entre os sinais medidos no infravermelho próximo e o vermelho:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (5)$$

- A normalização é feita para compensar as diferentes condições de visão e iluminação presentes numa imagem e entre diferentes imagens;
- O NDVI varia entre -1 e 1, sendo que os valores mais altos correspondem a valores elevados de biomassa;
- Normalmente, os valores negativos são ajustados a 0, passando o NDVI a variar entre 0 e 1.

NDVI

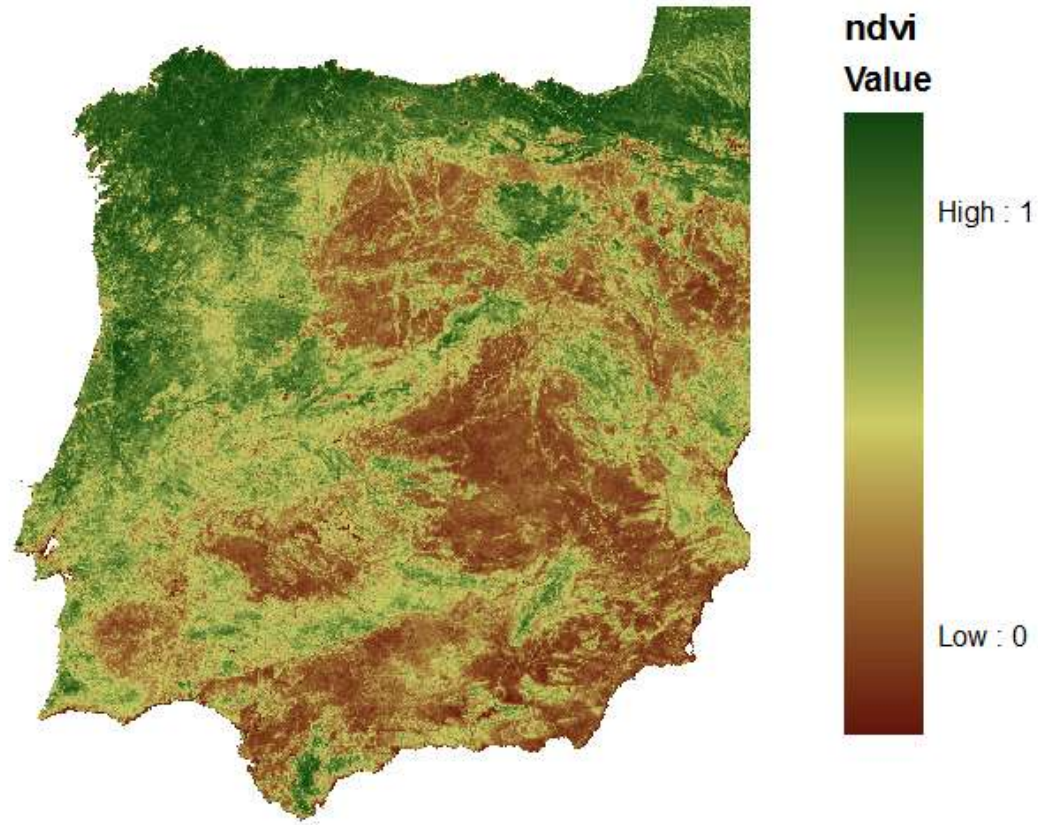


Fig. 11: NDVI MODIS de Outubro de 2006 da Península Ibérica .

Áreas ardidadas

- Produzido a partir das reflectâncias do MODIS Terra e do MODIS Aqua;
- As áreas ardidadas são caracterizadas por depósitos de carvão vegetal, cinzas, desaparecimento de vegetação e alterações na sua estrutura;
- O algoritmo tira partido das mudanças infligidas pelos incêndios, analisando a dinâmica das reflectâncias diárias para localizar alterações repentinas;
- Essa informação é utilizada para detectar a data aproximada da ocorrência de um incêndio;
- Apenas a extensão espacial de incendios recentes é mapeada e não de incêndios que ocorreram em estações ou anos anteriores.

Áreas ardidas

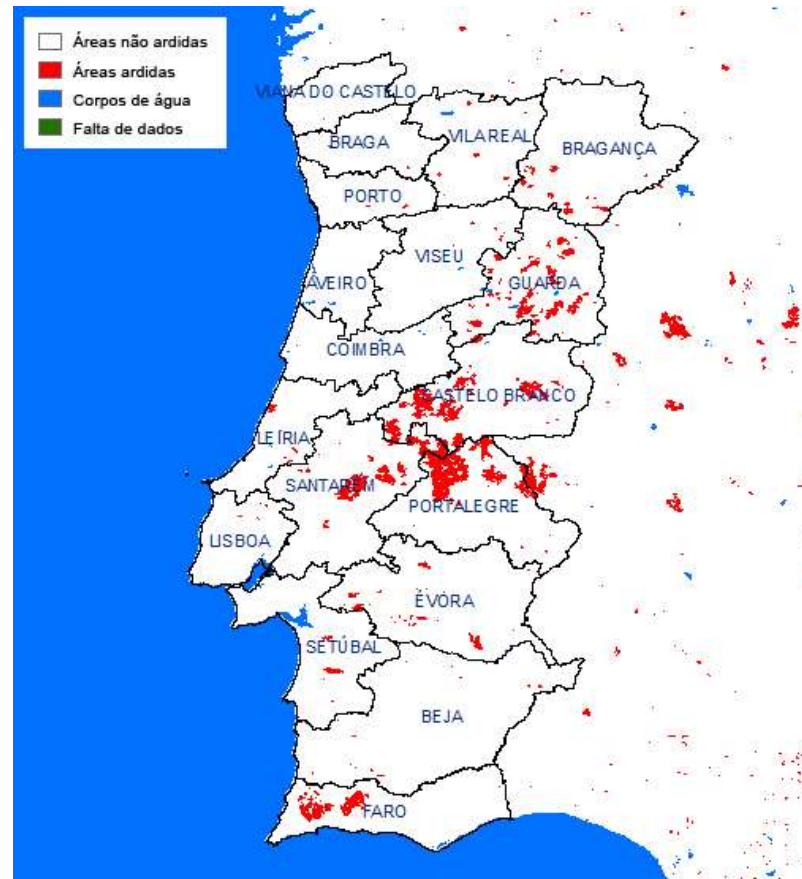


Fig. 12: Imagem MODIS das áreas ardidas em Portugal Continental em Agosto de 2003.

Aerossóis

- Os aerossóis são pequenas partículas suspensas na atmosfera, como poeira, fumo, cinzas ou poluentes;
- O parâmetro *Aerosol Optical Thickness* (AOT) reflecte até que ponto a concentração de aerossóis impede a absorção ou dispersão da luz;
- Para calcular o AOT são utilizadas reflectâncias em 3 resoluções espaciais (250 m, 500 m e 1 km) e produtos de máscara de nuvens e do perfil atmosférico. São ainda utilizados dados auxiliares do modelos climáticos da NCEP;
- O AOT é posteriormente validado recorrendo a dados de uma rede de estações global denominada *Aerosol Robotic Network* (AERONET).



Aerossóis

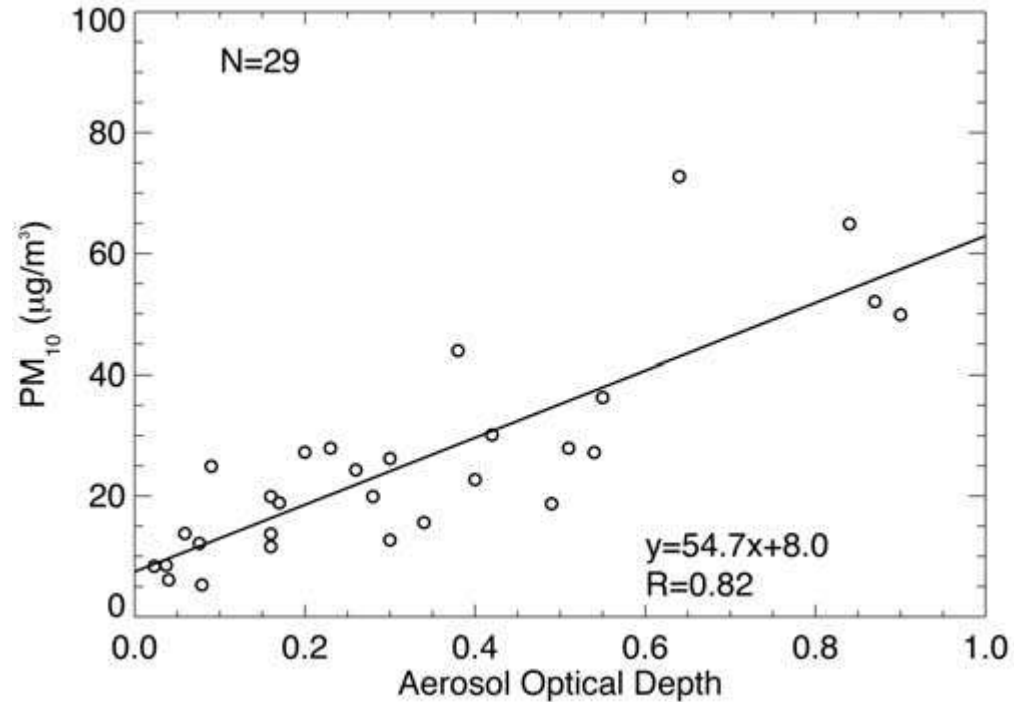


Fig. 13: Relação entre a concentração diária de PM₁₀ e de AOT, medido numa estação AERONET de Agosto a Outubro de 2000, no norte de Itália (Chu *et al*, 2003).

Ozone Monitoring Instrument (OMI)

- O OMI é um sensor que se encontra a bordo do satélite Aura da NASA, lançado em 15 de Julho de 2004, e permite distinguir tipos de aerossóis, como fumo, poeira e sulfatos;
- O sensor possui 3 bandas, duas nos ultravioleta (0.270-0.365 μm) e uma no visível (0.365-0.500 μm). Observações nestas bandas, juntamente com observações em terra, permitem calcular a composição da atmosfera;
- Existem alguns produtos derivados das observações do OMI que permitem avaliar a qualidade do ar:
 - Coluna troposférica de dióxido de azoto (NO_2) (25x25 km – 1 dia);
 - Coluna total de dióxido de enxofre (SO_2) (12.5x12.5 km – 1 dia);
 - Coluna total de ozono (O_3) (25x25 km – 1 dia).



Coluna troposférica de NO₂

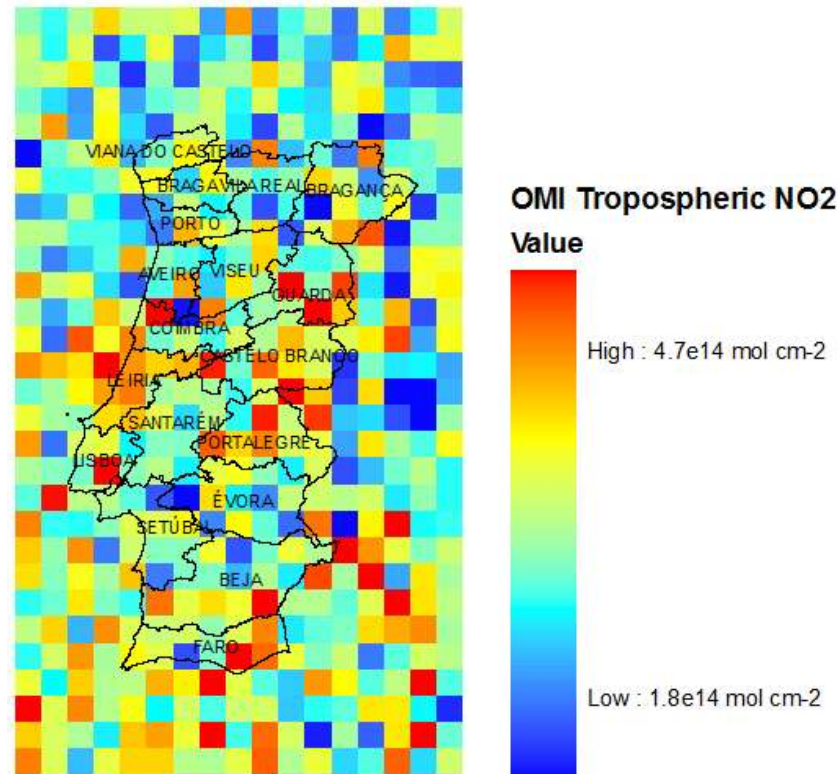


Fig. 14: Imagem OMI da coluna troposférica de dióxido de azoto no mês de Maio de 2005.

Trabalho em curso

- Estabelecer uma relação entre as $PM_{10/2.5}$ e o AOT;
- Estabelecer uma relação entre a concentração dos poluentes dados pelo OMI com a concentração destes poluentes à superfície;
- Explorar dados de outros poluentes, como o monóxido de carbono (CO), dado pelo sensor TES a bordo do satélite Aura;
- Relacionar espacialmente todos os dados recolhidos com os dados de internamentos hospitalares devido a surtos de asma;

