

# Geomática e SIGDR

(última alteração: 19 de Abril de 2022)

Manuel Campagnolo

Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa

2021-2022

|          |                                                              |           |
|----------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                            | <b>6</b>  |
| <b>2</b> | <b>Representar a realidade geográfica em formato digital</b> | <b>11</b> |
|          | • Conceptualização da realidade                              | 12        |
|          | • Duas visões básicas para fenómenos espaciais               | 16        |
|          | • Formatos de dados para informação geográfica               | 19        |
|          | • Um exemplo de formato vectorial                            | 20        |
|          | • Um exemplo de formato <i>raster</i>                        | 22        |
| <b>3</b> | <b>Bases de dados geográficos e tabelas de atributos</b>     | <b>26</b> |
|          | • Esquemas para tabelas de atributos                         | 33        |
|          | • Estruturar bases de dados em SIGs                          | 35        |
|          | • Cruzamento de tabelas                                      | 41        |
|          | • Diagramas de operações                                     | 47        |
|          | • Selecção por atributos                                     | 53        |
| <b>4</b> | <b>Análise espacial sobre cdg vectoriais</b>                 | <b>57</b> |
|          | • Objectos geométricos e coordenadas                         | 60        |
|          | • Métodos básicos sobre objectos geométricos                 | 67        |
|          | • Métodos para testar relações espaciais                     | 70        |
|          | • Selecção por localização                                   | 74        |



|          |                                                                   |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| •        | Métodos que suportam análise espacial                             | 82         |
| •        | Sobreposição vectorial                                            | 90         |
| <b>5</b> | <b>Análise de dados matriciais (<i>raster</i>)</b>                | <b>110</b> |
| •        | Principais características de um cdg matricial                    | 114        |
| •        | Histogramas e contraste das imagens                               | 116        |
| •        | Composições coloridas de imagens                                  | 119        |
| •        | Reamostragem de cdg matriciais                                    | 120        |
| •        | Sobreposição matricial                                            | 124        |
| •        | Filtros para processamento de imagem                              | 129        |
| <b>6</b> | <b>Integração vectorial/matricial e interpolação espacial</b>     | <b>133</b> |
| •        | Restruturação de vectorial para matricial                         | 135        |
| •        | Restruturação de matricial para vectorial                         | 137        |
| •        | Interpolação espacial                                             | 138        |
| <b>7</b> | <b>Aplicações a modelos digitais de elevações (<i>raster</i>)</b> | <b>151</b> |
| •        | Elevação                                                          | 152        |
| •        | Algumas técnicas para análise do relevo                           | 155        |
| <b>8</b> | <b>Sistemas de coordenadas de referência</b>                      | <b>168</b> |
| •        | Geoide, elipsoide de referência e <i>datums</i> globais           | 171        |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| • Coordenadas geográficas                      | 175 |
| • Altitude ortométrica e elipsoidal            | 184 |
| • Projecções cartográficas                     | 186 |
| • Projecções cartográficas adoptadas na UE     | 188 |
| • Descrição proj4 para sistemas de coordenadas | 191 |
| • Transformação de coordenadas                 | 192 |

|          |                                                          |            |
|----------|----------------------------------------------------------|------------|
| <b>9</b> | <b>Introdução à detecção remota</b>                      | <b>198</b> |
| •        | Fundamentos: radiação electromagnética                   | 202        |
| •        | Fundamentos: reflectância da superfície                  | 208        |
| •        | Fundamentos: regiões do espectro electromagnético        | 216        |
| •        | Fundamentos: assinaturas espectrais                      | 221        |
| •        | Fundamentos: efeito da atmosfera                         | 228        |
| •        | Sistemas de detecção remota                              | 232        |
| •        | Sistemas de DR: resolução espacial, espectral e temporal | 239        |
| •        | Sistemas activos de DR: RADAR e LIDAR                    | 262        |
| •        | Sistemas de DR: acesso a dados                           | 282        |
| •        | Representação e interpretação de imagens multiespectrais | 292        |
| •        | Interpretação de imagens de DR: índices de vegetação     | 296        |

## Lista de diagramas de operações

|                                                   |               |
|---------------------------------------------------|---------------|
| Cruzamento de tabelas                             | 44, 52        |
| Tipos de cdg e atributos                          | 47            |
| Atributos e chaves                                | 48, 49        |
| Edição de tabela                                  | 52            |
| Seleccção por atributos                           | 55            |
| Conversão <i>multipart</i> para <i>singlepart</i> | 66, 106       |
| Indicação de CRS e cálculo de áreas               | 68            |
| Seleccção por localização                         | 75, 77        |
| Sobreposição vectorial: intersecção               | 93, 96        |
| Sobreposição vectorial: união                     | 95, 96        |
| Sobreposição vectorial: geração de buffers        | 99            |
| Sobreposição vectorial: recorte ( <i>clip</i> )   | 105           |
| Sobreposição vectorial: dissolução                | 105, 106, 107 |
| Sobreposição vectorial: diferença                 | 109           |
| Sobreposição vectorial: composição de operações   | 106           |
| Sobreposição matricial                            | 128           |
| Restruturação de vectorial para matricial         | 136           |
| Restruturação de matricial para vectorial         | 137           |

**Geomática** é uma área de engenharia relacionada com a aquisição, processamento, visualização e distribuição de dados georreferenciados provenientes de várias fontes com exactidão posicional conhecida.

Esta designação foi criada nos anos 80 e está relacionada com a crescente disponibilidade de dados geográficos e a crescente utilização desses dados. O processamento dessa enorme quantidade de informação requer portanto meios informáticos.

Para estruturar e facilitar o acesso ao manancial de dados geográficos actualmente disponíveis, têm sido desenvolvidas iniciativas para desenvolver infraestruturas e normas de dados espaciais, a nível nacional, continental ou global. Um dos exemplos é a directiva INSPIRE que se aplica à UE e outros países vizinhos (<https://youtu.be/xew6qI-6wNk>).

## Disciplinas da Geomática

A geomática apoia-se em diversas disciplinas tais como:

- 1 Informática: processamento automático de informação
- 2 Geodesia: forma da Terra (geoide e elipsoide) e localização;
- 3 Topografia: métodos e instrumentos para medir e representar detalhes da superfície;
- 4 Cartografia: representação simbolizada da realidade geográfica;
- 5 Fotogrametria: determinação da posição e forma de objectos à superfície através de medições em imagens;
- 6 Detecção remota: observação da Terra do ar ou do espaço;
- 7 Sistemas de posicionamento global: determinação da localização 3D de objectos em qualquer local da superfície e em tempo real;
- 8 Sistemas de Informação geográfica (SIG): sistemas informáticos para suporte e processamento de dados georreferenciados;
- 9 Ontologia: conceptualização e abstração da realidade por forma a poder ser representada num sistema informático;

## Objectivos principais da UC

Pretende-se que os alunos da UC adquiram os conhecimentos e capacidades para:

- 1 usar alguns conceitos fundamentais das disciplinas da geomática, nomeadamente nas áreas de
  - ▶ sistemas de informação geográfica;
  - ▶ georreferenciação,
  - ▶ cartografia,
  - ▶ detecção remota
- 2 usar uma ferramenta informática de apoio à geomática – o sistema de informação geográfica QGIS;
- 3 recolher e processar dados geográficos de forma autónoma.

# Tópicos principais da UC e algumas referências bibliográficas

- ➊ Geomática e SIGs: conceitos e aplicações;
  - ▶ P. Longley, M. Goodchild, D. Maguire and D. Rhind, Geographic Information Systems and Science, 3rd ed. (2011) Wiley. [U40-142]
  - ▶ J. Campbell and M. Shin, Essentials of Geographic Information Systems, (2011) Saylor, acessível on-line:  
<https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/67>
  - ▶ S. Bell, Introduction to Geomatics, acessível on-line  
<https://openpress.usask.ca/introgeomatics/>
- ➋ Processamento de dados geográficos com SIGs;
  - ▶ J. Matos, Fundamentos Informação Geográfica, 6ªed. (2008) Lidel
- ➌ Georreferenciação e sistemas de coordenadas de referência;
  - ▶ J. Casaca, Cartas e projecções cartográficas, 2a ed, Lidel (2006)
- ➍ Introdução à cartografia;
  - ▶ R. Fernando, Representação topográfica do terreno, ISA (2008)
- ➎ Introdução à detecção remota.
  - ▶ M. Campagnolo, Elementos de apoio às aulas de detecção remota, ISA (2012), revisto em 2016.

## Alguns links introdutórios sobre SIGs

- *John Snow and the 1854 Broad Street cholera outbreak*, considerado como uma das primeiras análises de dados geográficos, assim como um trabalho pioneiro em epidemiologia  
<https://youtu.be/lNjrAXGRda4>;



Representar a realidade geográfica em formato digital

# Simplificação da realidade

A realidade pode ser mais ou menos complexa à escala da representação pretendida.

Chama-se *generalização cartográfica* ao conjunto de processos de simplificação e adequação da informação à escala do mapa.

Paisagem Agrária do Ribatejo

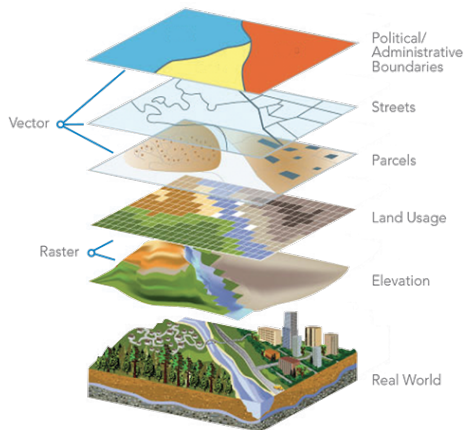


Paisagem agrária da Região de Entre Douro e Minho



Aldeia de Brufe – Terras de Bouro (Barreira de Condensação)

# Simplificação da realidade



## Conceptualização da realidade

Suponha-se que se pretende criar o cadastro de uma zona rural. Dessa **realidade**, apenas interessa considerar alguns aspectos (fenómenos) como, por exemplo, a localização das parcelas e os seus proprietários. Como é que esses fenómenos do "mundo real" podem ser representados?

| Conceito                           | Definição                                              | Exemplo                                   |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| entidade                           | fenómeno do mundo real                                 | <i>parcela de cadastro</i>                |
| atributo                           | propriedade da entidade                                | <i>NIF do proprietário</i>                |
| objecto geométrico                 | representação geométrica da entidade                   | <i>polígono num SIG</i>                   |
| <i>feature</i>                     | entidade+objecto+atributos                             |                                           |
| tipo geométrico                    | forma de representação                                 | <i>polígono</i>                           |
| cdg: conjunto de dados geográficos | coleção de <i>features</i> com um tema e formato comum | <i>representação das parcelas num SIG</i> |

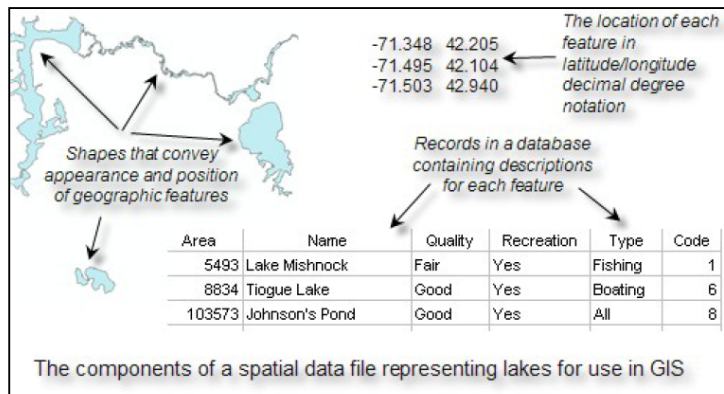
Nota: Matos (2008) sugere “característica” como tradução de *feature*.

## Entidades e atributos

Representação de um conjunto de dados geográficos, quando a delimitação espacial das entidades é bem definida:

*coleção de objectos geométricos + tabela de atributos*

Neste novo exemplo, cada **entidade** (lago) corresponde a uma **linha da tabela**.



Source: <http://gisatbrown.typepad.com/gis/files/spatialdatafiles.pdf>

## Duas visões básicas para fenómenos espaciais

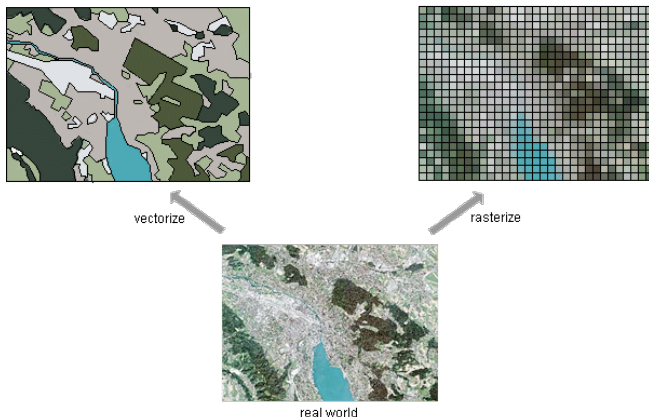
Quando se pretende representar o “mundo real” num sistema de informação geográfica, é necessário escolher o melhor **modelo conceptual de dados** para essa representação.

Para essa escolha é determinante distinguir dois tipos de fenómenos do mundo real:

- 1 **Entidades isoladas no espaço, com fronteiras bem definidas**, como por exemplo um conjunto de edifícios, de estradas, de estações meteorológicas ou de parcelas agrícolas. O melhor modelo para representar este tipo de fenómeno é o **modelo vectorial**;
- 2 **Fenómenos distribuídos no espaço de forma contínua**, como por exemplo a temperatura da superfície, a quantidade de precipitação ou o índice de área foliar. O modelo mais adaptado para representar este tipo de fenómeno é o **modelo matricial** (também conhecido por *raster*).

## Duas visões básicas: vectorial vs matricial

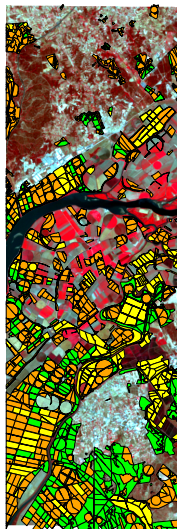
Por vezes a escolha entre modelo vectorial e o modelo matricial para representar um certo fenómeno espacial não é clara. O modelo vectorial permite em geral uma melhor **representação das fronteiras geográficas** das entidades relevantes mas o seu rigor depende da **precisão posicional** dos pontos que definem as fronteiras.



## Duas visões básicas para fenómenos espaciais: exemplo

Nesta representação de um conjunto de parcelas agrícolas no Ribatejo sobre uma composição colorida de uma imagem de satélite:

- 1 **parcelas agrícolas** (entidades) são representados por polígonos (modelo vectorial);
- 2 a **reflectância da superfície** (fenómeno contínuo do espaço) é representada por uma imagem (modelo matricial).





## Formatos de dados para informação geográfica

Cada **modelo conceptual de dados** pode ser concretizado numa grande variedade de **formatos de dados**. São esses formatos de dados (tipicamente conhecidos pela sua extensão) que nos permitem armazenar e transferir informação geográfica.

Alguns formatos de ficheiros para conjuntos de dados geográficos:

- 1 **Formatos vectoriais**, e.g. OGC GeoPackage (OGC=Open Geospatial Consortium), SpatiaLite, OGC Web Feature Services, GeoJSON (Internet Engineering Task Force); Geography Markup Language (GML), Google Keyhole Markup Language (KML/KMZ), ESRI Shapefile, ESRI Geodatabase, ....
- 2 **Formatos matriciais**, ver GDAL Raster Formats  
`https://svn.osgeo.org/gdal/tags/gdal\_1\_2\_5/frmts/formats\_list.html`
- 3 **Tabelas simples** (formato não espacial de dados). e.g. CSV, TXT, ....

## Um exemplo de formato do tipo vectorial: *shapefile*

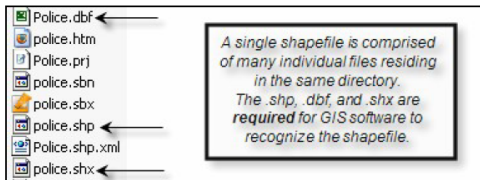
- 1 O formato *shapefile* é um formato aberto;
- 2 Os objectos geométricos podem ser do tipo **ponto**, **linha** ou **polígono**.
- 3 A escolha do tipo é feita dependendo da **natureza das entidades** a representar, do **detalhe** desejado e das **características das entidades** que se pretende representar.

### Exemplos:

- 1 **Aglomerados populacionais** podem ser representados como pontos ou como polígonos; A escolha depende do nível de detalhe e da informação que se quer armazenar. Por exemplo, para estudar a dinâmica de zonas urbanas, é necessário ter os contornos dos aglomerados populacionais, i.e. é necessário usar objectos do tipo polígono.
- 2 **Linhas de água** ou uma **rede viária** podem ser representados como linhas a uma escala reduzida ou como polígonos a uma escala maior.

## Formatos de dados do tipo vectorial: o formato *shapefile* (cont.)

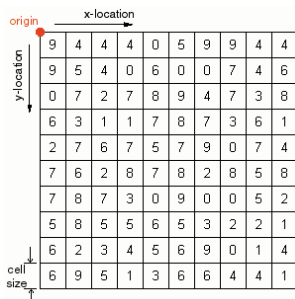
- 1 O formato *shapefile* é na verdade constituído por pelo menos três ficheiros com o mesmo nome e extensões diferentes. Esses ficheiros têm que estar na mesma pasta de dados:
  - ▶ o ficheiro `.shp` armazena os objectos geométricos (e.g. `lagos.shp`)
  - ▶ o ficheiro `.dbf` armazena a tabela de atributos (e.g. `lagos.dbf`)
  - ▶ o ficheiro `.shx` estabelece a relação entre objectos de `.shp` e linhas da tabela `.dbf` (e.g. `lagos.shx`)
- 2 O ficheiro `.prj` é facultativo (e.g. `lagos.prj`) mas muito importante pois contém a informação sobre o sistema de coordenadas em que estão expressos os objectos geométricos que representam as entidades.



Source: <http://gisatbrown.typepad.com/gis/files/spatialdatafiles.pdf>

## Dados de tipo matricial: imagens e pixels

Todos os dados de tipo matricial (*raster*) têm uma estrutura semelhante: um **arranjo espacial regular** de valores. Cada elemento do arranjo (ou imagem) é designado por **célula** ou **pixel** e tem um valor numérico ou um não-valor (No data, NA, Null, ...)



**Figura:** Ilustração da estrutura de dados raster. No caso mais simples a georreferenciação é definida pelas coordenadas de um canto da imagem e pelo tamanho do pixel (resolução espacial).

## Um exemplo de formato *raster*

Dados do tipo matricial representam o espaço de forma extensiva, e são em geral obtidos por detecção remota ou derivados digitalmente de informação espacialmente contínua.

Os diferentes formatos de dados matriciais – elaborados por diferentes softwares e por diferentes produtores de informação – suportam imagens com uma ou mais várias camadas de informação. Por exemplo, uma imagem multiespectral obtida por detecção remota tem tipicamente várias bandas.

Correntemente o formato mais divulgado (e que é na prática um standard) é o formato **Tag Image File Format (TIFF)**, com extensão `.tiff` ou `.tif`.

O formato *TIFF* admite um conjunto de informação adicional flexível (conhecidos por *tags*), consiste num ficheiro único com tamanho até 4Gb e é um formato do tipo **lossless**, isto é as técnicas de compressão usadas são totalmente reversíveis (não há perda de informação).

## Formatos de dados do tipo matricial (*raster*): o formato *GeoTIFF*

O formato *GeoTIFF* é o formato *TIFF* com **geolocation tags**. Essas “etiquetas” permitem geolocalizar os pixels da imagem, sendo essa geolocalização feita num determinado **sistema de coordenadas de referência** que podem ser longitude e latitude ou coordenadas cartográficas.

A associação dos pixels ao sistema de coordenadas pode ser feito de várias formas no formato *GeoTIFF*: associar coordenadas ao canto (0,0) da imagem, transformação linear da grelha, conjunto de pontos de controlo ou coeficientes racionais-polinomiais que permitem fazer a ortorrectificação da imagem.

O formato *GeoTIFF* permite então armazenar:

- 1 os **valores** dos pixels da imagem e o respectivo domínios de valores;
- 2 a geolocalização dos pixels;
- 3 a **resolução** da imagem, i.e. as distâncias no terreno nas duas direcções coordenadas correspondentes a cada pixel.

Detalhes podem ser encontrados em <http://trac.osgeo.org/geotiff/>

## Alguns links para videos

- Video sobre pixels e representação digital de imagens em studio.code.org: <https://youtu.be/15aqFQQVBWU>
- Introdução a sistemas de informação geográfica (animação) [https://youtu.be/\\_2r43AWi4YM](https://youtu.be/_2r43AWi4YM).

## Bases de dados geográficos e tabelas de atributos



A maioria dos Sistemas de Informação Geográfica combinam:

- 1 Um **sistema de gestão de bases de dados**, permitindo realizar pesquisas por atributos (conhecidas por *attribute queries*) nas **tabelas de atributos** em que está armazenada a informação;

Distinguem-se os seguintes tipos de tabelas:

- ▶ **Tabelas de dados geográficos**, associados a *features*, i.e. tabelas em que cada linha corresponde a um objecto geométrico que representa alguma entidade geográfica; Neste caso a pesquisa devolve valores da tabela e objectos geométricos associados.
- ▶ **Tabelas de dados não geográficos**, que são simples tabelas, em que as linhas não estão associadas a objectos geométricos do SIG.

- 2 Funções de **geometria computacional**, permitindo fazer pesquisas (conhecidas por *spatial queries*) e outras operações espaciais sobre os objectos geométricos armazenados no SIG.

Por forma a realizar pesquisas por atributos de forma fiável e rápida, **a base de dados contida na SIG deve estar correctamente estruturada.**

## Tabelas, atributos e valores

Cada *feature* de um cdg vectorial está associada a uma **linha** da tabela de atributos.

### (Tabela de atributos)

*É um arranjo regular de linhas e colunas que deve satisfazer os seguintes requisitos:*

- 1 *Há um único valor em cada célula (i.e. na intersecção de uma linha e uma coluna da tabela);*
- 2 *Os valores de uma coluna (i.e. de um atributo) dizem respeito à mesma propriedade das entidades e têm o mesmo domínio;*
- 3 *Cada linha é única (i.e. a tabela não pode ter duas ou mais linhas idênticas);*
- 4 *A ordem das linhas e a ordem das colunas é irrelevante.*

Cada tabela de um SIG tem um **nome**, não podendo haver tabelas com nomes repetidos no SIG. Os **atributos** de uma tabela devem ter nomes distintos, mas tabelas distintas podem ter atributos com o mesmo nome.

## Tabelas, atributos e valores: exercício

- 1 Indique, entre as tabelas seguintes, quais não verificam as especificidades de uma tabela de atributos. Justifique.

tabela valores:

| codigo | valor |
|--------|-------|
| 0      | médio |
| 1      | baixo |
| 2      | médio |
| 3      | 0     |

tabela contentores:

| ID | descricao       |
|----|-----------------|
| A1 | longo e vazio   |
| D6 | baixo e vazio   |
| U2 | médio e cheio   |
| A4 | elevado e vazio |

tabela funcionarios:

| numero | iniciais |
|--------|----------|
| 342    | JC       |
| 526    | MC       |
| 567    | MJ       |
| 612    | ER       |

tabela parcelas:

| codigo | atributo   |
|--------|------------|
| 1      | cenoura    |
| 2      | batata     |
| 3      | João Silva |
| 4      | hipotecado |

- 2 Um mesmo SIG pode incluir duas tabelas que têm um atributo com nome `codigo`?
- 3 Um mesmo SIG pode incluir duas tabelas com nome `parcelas`?

## Valores e domínio dos atributos

Cada atributo tem um **domínio**, ou seja os valores que o atributo pode tomar. O domínio é um conjunto pré-especificado.

Em particular, o domínio pode ser:

- O conjunto de números inteiros com um certo tamanho máximo, e.g. `[inteiros; 6]`
- O conjunto de números reais com um tamanho máximo e uma determinada precisão (número de casas decimais), e.g. `[reais; 8; 2]`
- O conjunto das palavras (*strings*) até um certo tamanho, e.g. `[texto; 20]`
- O conjunto de datas num certo formato.

## Tabela de atributos e chave primária

Dado que uma tabela não pode ter linhas repetidas, então existe sempre um conjunto de atributos que permite identificar de forma única as linhas da tabela.

*Sem perda de generalidade, vamos admitir que existe sempre pelo menos um atributo da tabela que permite distinguir as linhas da tabela.*

Caso uma tabela não contenha um atributo nessas condições, é fácil criar um novo atributo que simplesmente enumera as linhas da tabela por 0, 1, 2, ....

### (Chave primária)

*Atributo cujos valores não se repetem na tabela.*

## Tabela de atributos e chave primária: exemplo

A tabela `VACc` do INE indica o valor acrescentado na actividade primária agrícola e florestal em cada concelho de Portugal Continental, e tem, entre outros, os atributos `DTCC` e `MEuros`.

- 1 `DTCC` é um código de 4 dígitos com a indicação do distrito (DT) seguida da indicação do concelho (CC) – por exemplo, 0101 indica o concelho de Águeda no distrito de Aveiro (01), e 1823 indica o concelho de Viseu no distrito de Viseu (18);
- 2 `MEuros` é o valor acrescentado.

O atributo `DTCC` é uma **chave primária** pois os seus valores não se repetem (cada linha da tabela diz respeito a um concelho distinto) mas `MEuros` pode não ser uma chave primária pois pode acontecer que dois concelhos distintos tenham o mesmo valor acrescentado.

## Representação de uma tabela de atributos por um esquema

Uma tabela de um SIG por ser representada por um **esquema** que descreve os atributos e indica a(s) chave(s) primária(s) por um sublinhado.

Exemplo 1: o esquema para a tabela `VACc`, supondo que apenas tem os atributos `DTCC` e `MEuros`, é:

`VACc (DTCC, MEuros)`

Exemplo 2: a tabela de um `cdg conc_2016` que representa os concelhos de Portugal poderia ser descrita pela seguinte esquema:

`conc_2016 (Municipio, Distrito, DTCC, area)`

Adicionalmente, os **domínios** dos atributos devem ser indicados. Isso pode ser feito da seguinte forma:

- 1 `Municipio [texto; 254]`, palavras até 254 caracteres;
- 2 `Distrito [texto; 254]`, `idem`;
- 3 `DTCC [texto; 4]`, palavras até 4 caracteres;
- 4 `area [inteiro; 10]`, números inteiros até 10 dígitos.

## Representação de uma tabela de atributos por um esquema: exercícios

Pretende criar-se SIGs que contenham informação relativa aos seguintes conjuntos de dados. Para cada caso, indique o esquema da tabela, os domínios dos atributos e o tipo de objectos geométricos associados às *features*.

- 1 Cadastro: conjunto de parcelas para os quais é necessário conhecer o código (NIP), o tipo de parcela (rústico, urbano ou misto) e o NIF do proprietário;
- 2 Rios: conjunto de linhas de água para as quais se quer registar a designação e a navegabilidade (navegável ou não);
- 3 Poços: conjunto de poços que têm uma certa localização e diâmetro.



## Evitar redundância nas tabelas de atributos: normalização

Um dos principais aspectos a ter em conta no desenho de uma base de dados é assegurar que a sua manutenção e actualização pode ser realizada de forma eficiente e correcta.

Um dos principais problemas para a gestão de uma base de dados é a existência de informação duplicada (redundância). Essa duplicação de informação coloca em causa a integridade da base de dados se esta for sujeita a alterações do seu conteúdo.

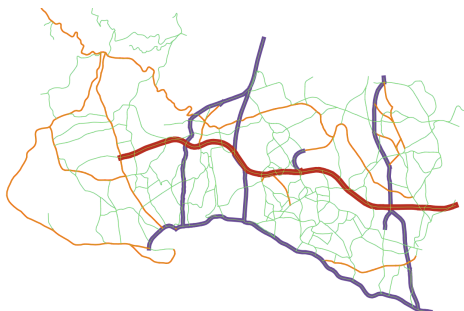
### (Normalização)

*É o processo de remoção de redundâncias numa base de dados.*

Uma das fontes de redundância é a existência de **dependências entre atributos que não são chave primária da tabela**. Pode eliminar-se esse tipo de dependências cindindo a tabela em duas ou mais tabelas de menores dimensões.

## Evitar redundância nas tabelas de atributos: exemplo de normalização

Considere a tabela `RedeViariaProt(ID, tipo, distancia)` associada ao cdg de uma rede viária, em que `ID` é a identificação da estrada, `tipo` indica o tipo de estrada (A=auto-estrada, P=est principal, S=est secundária, ou C=caminho) e `distancia` é uma distância de protecção que depende do tipo de estrada.



## Evitar redundância nas tabelas de atributos: exemplo de normalização (continuação)

A tabela original exibe uma dependência entre os atributos *distancia* e *tipo*, não sendo nenhum deles uma chave primária da tabela, e por isso apresenta redundância de informação.

Para evitar isso pode cindir-se a tabela em duas tabelas criando uma nova base de dados cuja manutenção é mais fácil e mais fiável.

RedeViariaProt

| ID   | tipo | distancia |
|------|------|-----------|
| ...  | ...  | ...       |
| 1514 | S    | 25        |
| 1515 | S    | 25        |
| 1516 | P    | 50        |
| 1517 | A    | 100       |
| 1518 | P    | 50        |
| 1519 | A    | 100       |
| 1520 | C    | 10        |
| ...  | ...  | ...       |

RedeViaria

| ID   | tipo |
|------|------|
| ...  | ...  |
| 1514 | S    |
| 1515 | S    |
| 1516 | P    |
| 1517 | A    |
| ...  | ...  |

ProtDist

| tipo | distancia |
|------|-----------|
| C    | 10        |
| S    | 25        |
| P    | 50        |
| A    | 100       |

## Estruturar bases de dados: exercícios

Proponha tabelas de dados geográficos e não geográficos para estruturar a seguinte informação num SIG:

- 1 Localização de linhas de água com indicação do nível de contaminação química; cada linha de água tem uma designação; o seu nível de contaminação pode variar de troço para troço da mesma linha de água; os níveis de contaminação são numerados de 0 a 3, e cada um tem uma descrição desde “não contaminado” até “contaminação elevada”.
- 2 Representar um conjunto de árvores notáveis. Registrar a localização, o código da árvore, o nome científico, o nome comum, a família, a altura da árvore e o diâmetro do tronco (DAP).  
Nota 1: existem diversos indivíduos de cada uma das espécies.  
Nota 2: supõe-se que cada espécie tem um único nome comum.

## Possíveis soluções para os exercícios do Slide 38

**Ex. 1.** Cada *feature* corresponde a um segmento de linha de água e pode corresponder a objectos geométricos do tipo linha. Os atributos e seus domínios seriam por exemplo `ID[inteiro;6]`, `nomeLAgua[texto;20]` e `CodigoCont[inteiro;1]`. O esquema da tabela seria:

`SegmentosLAgua(ID, nomeLAgua, CodigoCont)`,

Será necessária uma tabela de dados não geográficos para associar cada código à descrição do nível de contaminação com dois atributos, e.g. `Codigo[integer, 1]` and `Descricao[texto; 20]`:

`NiveisContaminacao(Codigo, Descricao)`

A tabela `NiveisContaminacao` tem apenas 4 linhas:

| Codigo | Descricao            |
|--------|----------------------|
| 0      | não contaminado      |
| 1      | contaminação baixa   |
| 2      | contaminação média   |
| 3      | contaminação elevada |

## Possíveis soluções para os exercícios do Slide 38 (continuação)

**Ex. 2.** É fácil ver que existem dois tipos de atributos: os que dependem de cada árvore, como o **código da árvore**, o **DAP**, a **altura** e o **nome científico** da espécie a que pertence a árvore, e os que podem ser derivados do nome científico da espécie, como o **nome comum** e a **família**. Assim, podemos usar um cdg de pontos em que cada *feature* está associada a uma árvore. O esquema da base de dados é constituído por uma tabela de dados geográficos

`Arvores(ID, nomeCientif, Altura, DAP),`

e uma tabela de dados não geográficos para registar a família e o nome comum:

`Especies(nomeCientif, Familia, nomeComum).`

A tabela *Especies* pode ser algo como:

| nomeCientif    | Familia  | nomeComum      |
|----------------|----------|----------------|
| Pinus pinaster | Pinaceae | pinheiro bravo |
| Quercus suber  | Fagaceae | sobreiro       |
| ...            | ...      | ...            |

## Cruzamento de tabelas

Vimos atrás que a melhor estrutura da base de dados pode incluir várias tabelas. Como se pode então aceder ao conjunto dessa informação?

As tabelas de uma base de dados podem ser cruzadas para criar novas formas de ver a informação contida na base de dados.

*Como simplificação, iremos considerar que se cruza sempre uma tabela de dados geográficos com uma tabela de dados não geográficos.*

Para fazer o cruzamento, é necessário que :

- 1 Ambas as tabelas tenham um atributo comum;
- 2 Esse atributo seja uma **chave primária** da tabela de dados não geográficos.

Nesse caso, o atributo chama-se uma **chave estrangeira** da tabela de dados geográficos, e é indicada com um *sublinhado a tracejado* no esquema da tabela de dados geográficos.

## Cruzamento de tabelas: exemplo

Suponha que quer cruzar as seguintes tabelas por forma a adicionar à tabela da esquerda a informação sobre a população do município disponível na tabela da direita:

| Municipio | Distrito | DTCC | area      |
|-----------|----------|------|-----------|
| AGUEDA    | AVEIRO   | 0101 | 335282290 |
| ANADIA    | AVEIRO   | 0103 | 216639638 |
| AROUCA    | AVEIRO   | 0104 | 329111969 |
| ...       | ...      | ...  | ...       |

| DICO | popM   |
|------|--------|
| ...  | ...    |
| 0101 | 47 249 |
| 0103 | 28 501 |
| 0104 | 21 877 |
| ...  | ...    |

- A tabela da esquerda é a tabela vista no Slide 33:

`conc_2016 (Municipio, Distrito, DTCC, area)`

- A outra tabela é de dados não geográficos que indica a população em cada município; Tem o seguinte esquema:

`Populacao (DICO, popM)`

Os atributos `DTCC` e `DICO` tomam os mesmos valores e por isso permitem fazer o cruzamento das tabelas.



## Cruzamento de tabelas: exemplo (continuação)

O resultado do cruzamento das tabelas usando `DICO` como **chave primária** e `DTCC` como **chave estrangeira** (indicada por um **tracejado** no esquema da tabela `conc_2016`) é uma nova tabela:

`conc_2016_2`(Município, Distrito, DTCC, area, DICO, popM)

Na nova tabela `conc_2016_2`,

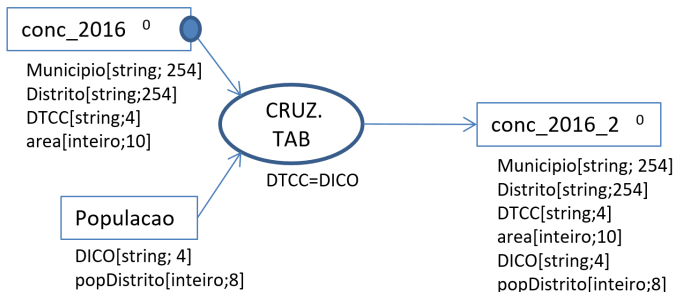
- 1 Os valores dos atributos `DTCC` e `DICO` são iguais;
- 2 Cada linha da tabela `conc_2016` é aumentada com a linha respectiva da tabela `Populacao`.

| Município | Distrito | DTCC | area      | DICO | popM   |
|-----------|----------|------|-----------|------|--------|
| AGUEDA    | AVEIRO   | 0101 | 335282290 | 0101 | 47 249 |
| ANADIA    | AVEIRO   | 0103 | 216639638 | 0103 | 28 501 |
| AROUCA    | AVEIRO   | 0104 | 329111969 | 0104 | 21 877 |
| ...       | ...      | ...  | ...       | ...  | ...    |

## Cruzamento de tabelas: exemplo (continuação)

Quando se trabalha com vários conjuntos de dados e se fazem operações sobre esses dados em SIGs, é conveniente documentar as operações com uma **notação diagramática** simples e compacta.

Nos diagramas de operações deve ser indicado o nome e tipo (ponto, linha ou polígono) dos cdg vectoriais, os seus atributos, e os parâmetros relevantes para as operações. O cruzamento de tabelas no exemplo corresponde ao seguinte diagrama, em que está também assinalado com ● o cdg que contém a chave estrangeira.



## Tabelas de atributos num SIG: ideias a fixar

- 1 Num SIG existem **tabelas de dados geográficos**, associadas a *features*, e **tabelas de dados não geográficos**;
- 2 As tabelas devem respeitar as condições do Slide 28, e em particular **as linhas da tabela devem ser distintas**; sem perda de generalidade, considera-se que existe pelo menos um atributo que toma valores diferentes em cada linha, chamado **chave primária**;
- 3 Deve evitar-se redundância de informação: em particular, não deve haver dependência entre atributos que não são chave primária da tabela;
- 4 Ao explorar a informação num SIG, as tabelas podem ser cruzadas; em particular, uma tabela de dados geográficos pode ser cruzada com uma tabela de dados não geográficos se a primeira tiver um atributo (**chave estrangeira**) que corresponde a uma chave primária da segunda. Esses dois atributos *não* têm que ter o mesmo nome.

## Cruzamento de tabelas: exercício

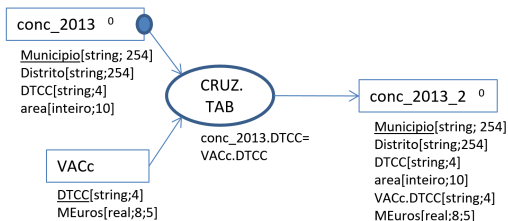
Considere de novo as tabelas

- 1 `VACc (DTCC, MEuros)`, introduzida no Slide 33, e
- 2 `conc_2013 (Município, Distrito, DTCC, area)`

Pretende-se cruzar essas tabelas para aumentar a tabela de atributos do `cdg conc_2013` com a informação do valor acrescentado por concelho dada por `MEuros`.

- 1 Indique a chave estrangeira desse cruzamento de tabelas.
- 2 Represente por uma diagrama essa operação.

Uma solução:



## Diagramas de operações (I): tipo de cdg, tabelas e atributos

No diagrama anterior, usam-se caixas para representar tabelas de dados geográficos e não geográficos, e elipses para representar operações. Para cada caixa, indicam-se:

- 1 o nome da tabela (coincide com o nome do cdg se for uma tabela de dados geográficos); os nomes no diagrama devem ser **distintos**;
- 2 o tipo de cdg se a tabela estiver associada a um cdg:
  - ▶ para um cdg de pontos, usa-se ●
  - ▶ para um cdg de linhas, usa-se —
  - ▶ para um cdg de polígonos, usa-se ○

Representação dos atributos de um cdg vectorial:

- Os atributos são representados sob o nome do cdg (para maior clareza, as chave primárias podem ser sublinhadas);
- O nome do atributo pode ser acompanhado do seu domínio;
- Os nomes dos atributos não se repetem para a mesma tabela; a notação `nomeTabela.nomeAtrib` (e.g. `VACc.DTCC`) permite distinguir atributos originados por cruzamento de tabelas.

## Diagramas de operações (II): simplificação do diagrama

Nos diagramas que serão apresentados, convencionou-se o seguinte.

- 1 Para simplificar, apenas os **atributos que vão ser usados nos parâmetros das operações** (e.g. cruzamento de tabelas) devem obrigatoriamente ser indicados no diagrama;
- 2 Quando um atributo é indicado para um *input* de uma operação, e se o **atributo por preservado pela operação**, esse atributo deve ser também indicado no *output* da operação;
- 3 Se as *features* do cdg são identificadas por uma enumeração 0, 1, 2, ..., essa **enumeração não tem que ser indicada no diagrama**, mesmo que seja uma chave primária da tabela.

Neste caso a  
chave primária  
é Município

conc\_2013



Município[string; 254]  
Distrito[string; 254]  
DTCC[string; 4]  
area[inteiro; 10]

codCultura e  
area não são  
chave primária:  
usa enumeração

Parcelas



area [real; 10; 3]  
CodCultura [string; 4]

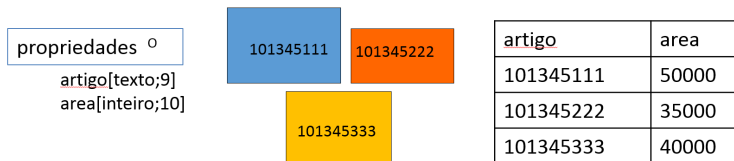
## Diagramas de operações e representação de *features*

Nos exemplos que serão apresentados, por vezes o diagrama será acompanhado por uma representação do cdg, com os seus **objectos geométricos** e **tabela de atributos**.

A **associação** entre cada objecto geométrico e a linha da tabela correspondente pode ser feita

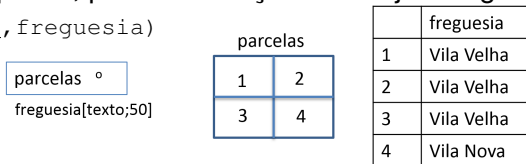
- 1 de forma explícita, usando uma chave primária da tabela;

`propriedades (artigo, area)`



- 2 de forma implícita, por enumeração dos objectos geométricos.

`parcelas (ID, freguesia)`



## Cruzamento de tabelas: Exercício

Suponha que pretende criar um SIG para representar as diversas parcelas de terreno de uma exploração agrícola, em que o número de parcelas é muito superior ao número de culturas. Para cada parcela pretende registar-se:

- 1 a localização e área (em ha) das parcelas (Nota: a melhor abordagem seria representar apenas as parcelas no SIG e usar uma funcionalidade do SIG para determinar as áreas: ver próxima secção);
- 2 o nome da cultura instalada;
- 3 o tipo e quantidade de fertilizante a aplicar (em  $t \times ha^{-1}$ ) por cultura, que é independente da localização da parcela;  
Considera-se que a cada cultura é aplicado um único tipo de fertilizante, mas que os fertilizantes aplicados podem ser distintos entre culturas;
- 4 o custo do fertilizante (em  $€ \times t^{-1}$ ), que depende do tipo de fertilizante.



## Cruzamento de tabelas: Exercício (cont.)

Usando um esquema para representar a base de dados e um diagrama para representar as operações a realizar,

- 1 Indique como deve ser estruturada a informação relevante para o problema;
- 2 Usando cruzamento de tabelas e derivação de novos atributos a partir dos atributos existentes (**edição da tabela**), mostre como se determina o custo do fertilizante a aplicar em cada parcela.

### Possível solução para a 1a parte:

Tabela associada a um cdg vectorial de tipo “polígono”:

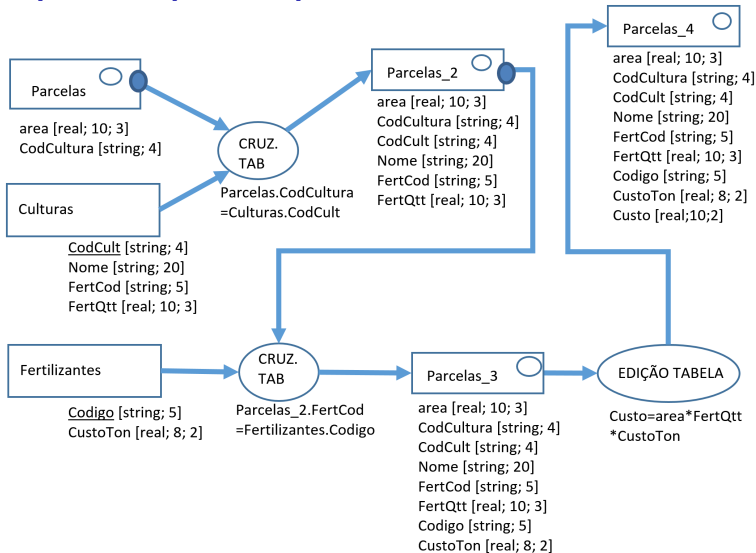
Parcelas(CodParcela [inteiro;4], area [real;10;3],  
CodCultura [texto;4])

Tabelas de dados não geográficos:

Culturas(CodCult [texto;4], Nome [texto;20], FertCod [texto;5],  
FertQtt [real;10;3])

Fertilizantes(Codigo [texto;5], CustoTon [real;8;2])

## Solução para a 2a parte do problema do Slide 51



O atributo `Custo` da tabela `parcelas_4` contém os custos (em €) de fertilizante para cada parcela.

## A operação de selecção por atributos ... e um pouco de lógica

### (Seleccção)

*É uma operação sobre um cdg vectorial que devolve um subconjunto de linhas da tabela de atributos e os objectos geométricos correspondentes. A selecção é realizada através de uma expressão lógica que pode tomar valor **V** ou **F** para cada linha da tabela de atributos.*

Exemplo: na tabela

`conc_2016 (Município, Distrito, DTCC, area)`

introduzida no Slide 33, pode realizar-se uma selecção dos concelhos com área superior a  $1000 \text{ km}^2$ , ou seja  $1000\,000\,000 \text{ m}^2$ , usando a expressão lógica

`area > 1000000000`

que toma valor **V** ou **F** para cada linha da tabela.

## A operação de selecção por atributos ... e um pouco de lógica

Os operadores lógicos **AND**, **OR** e **NOT** permitem combinar expressões lógicas para criar novas expressões lógicas.

Por exemplo, a expressão

```
area > 1000000000 AND Distrito="EVORA"
```

permite seleccionar os concelhos com mais de 1000 km<sup>2</sup> do distrito de Évora.

**Exercício:** como interpreta o resultado da selecção baseada na expressão

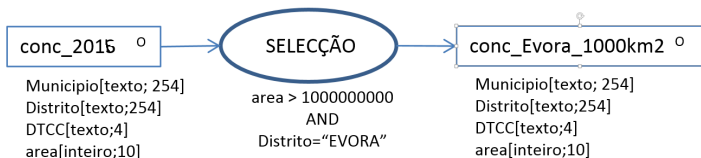
```
(Altura > 20 OR Altura/DAP > 10) AND  
NOT (nomeCientif="Pinus pinaster")
```

na tabela `Arvores(ID, nomeCientif, Altura, DAP)` do Slide 40?

## Diagrama para representar a operação de selecção por atributos

A operação de **selecção por atributos** é um operação de selecção em que o valor da expressão lógica depende unicamente dos atributos da tabela. Assim essa operação tem um único *input*, que é o cdg onde é realizada a selecção.

O exemplo do slide anterior pode representar-se pelo seguinte diagrama



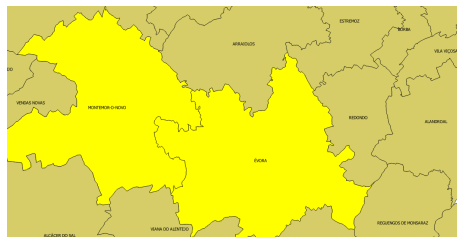
em que o *output* foi designado por conc\_Evora\_1000km2. A tabela de atributos de conc\_2016 e de conc\_Evora\_1000km2 têm as mesmas colunas (mesmos atributos) mas tipicamente a tabela conc\_Evora\_1000km2 terá um menor número de linhas.

## Seleção por atributos: *features* seleccionadas

No exemplo anterior, e porque uma seleção de linhas da tabela de atributos de um cdg vectorial induz uma seleção dos objectos geométricos correspondentes a essas linhas, o resultado da seleção consiste em:

- 1 um subconjunto das linhas da tabela; e
- 2 um subconjunto dos objectos geométricos.

|    | Município        | Distrito | DTCC | area       |
|----|------------------|----------|------|------------|
| 75 | ESTREMOZ         | ÉVORA    | 704  | 513801785  |
| 76 | ÉVORA            | ÉVORA    | 705  | 1307081864 |
| 77 | MONTE-MOR-O-N... | ÉVORA    | 706  | 1232976775 |
| 78 | TERRAS DE BOU... | BRAGA    | 310  | 277467549  |
| 79 | ALANDROAL        | ÉVORA    | 701  | 542683138  |
| 80 | ARRAIÓLOS        | ÉVORA    | 702  | 683751091  |
| 81 | BORBA            | ÉVORA    | 703  | 145187789  |
| 82 | OVAR             | AVEIRO   | 115  | 147707197  |



## Análise espacial sobre cdg vectoriais

# Análise espacial para cdg vectoriais

## (Análise espacial)

*Conjunto de métodos cujos resultados se alteram quando a localização dos objectos em análise se altera (Longley et al. 2010).*



A **selecção por atributos** não depende da localização das *features*.



## Dados vectoriais: conceitos fundamentais de análise espacial

O *OGC OpenGIS Implementation Standard for Geographic information* / ISO 19125 define métodos para **objectos geométricos**:

**Objectos geométricos** do tipo point, line, polygon, multi-point, etc, associados a um sistema de coordenadas;

**Métodos sobre objectos geométricos** devolvem propriedades tais como dimensão, fronteira, área, centroide, etc (ver Slide 63 );

**Métodos para testar relações espaciais entre objectos geométricos** **equals**, **disjoint**, **intersects**, **touches**, **crosses**, **within**, **contains**, **overlaps** and **relate**, com valor lógico **TRUE** ou **FALSE** (ver Slide 70);

**Métodos que suportam análise espacial** **distância**, que devolve uma **distância**, e **buffer**, **convex hull**, **intersection**, **union**, **difference**, **symmetric difference**, que devolvem **novos objectos geométricos** (ver Slide 82).

Fonte: [www.opengeospatial.org/standards/sfa](http://www.opengeospatial.org/standards/sfa)

## Objectos geométricos e coordenadas

Como discutido anteriormente, cada *feature* de um conjunto de dados geográfico é representado num SIG por um objecto geométrico do tipo "ponto", "linha" ou "polígono".

Um objecto geométrico é portanto definido através:

- 1 "pontos": um ou mais pontos de coordenadas  $(x, y)$  isolados;
- 2 "linhas" ou "polígonos": uma ou mais linhas poligonais, isto é uma sucessão de **vértices** com coordenadas  $\{(x_1, x_2), (y_1, y_2), \dots\}$ , respectivamente abertas ou fechadas.

em que  $(x, y)$  são expressos num determinado **sistema de coordenadas**, que pode ser geográfico ou cartográfico.

*Como simplificação, iremos considerar nesta secção que todos os cdg vectoriais têm o mesmo sistema de coordenadas. Assim, o sistema de coordenadas não tem que ser explicitado na descrição das operações espaciais.*

# Representar objetos geométricos 'singlepart'

## Geometry primitives (2D)

| Type       | Examples                                                                          |                                                                                              |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Point      |  | <code>POINT (30 10)</code>                                                                   |
| LineString |  | <code>LINESTRING (30 10, 10 30, 40 40)</code>                                                |
| Polygon    |  | <code>POLYGON ((30 10, 40 40, 20 40, 10 20, 30 10))</code>                                   |
|            |  | <code>POLYGON ((35 10, 45 45, 15 40, 10 20, 35 10),<br/>(20 30, 35 35, 30 20, 20 30))</code> |

# Representar objetos geométricos 'multipart'

**Multipart geometries (2D)**

| Type               | Examples                                                                          |                                                                                                                                       |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MultiPoint         |  | <code>MULTIPOINT ((10 40), (40 30), (20 20), (30 10))</code>                                                                          |
|                    |                                                                                   | <code>MULTIPOINT (10 40, 40 30, 20 20, 30 10)</code>                                                                                  |
| MultiLineString    |  | <code>MULTILINESTRING ((10 10, 20 20, 10 40), (40 40, 30 30, 40 20, 30 10))</code>                                                    |
| MultiPolygon       |  | <code>MULTIPOLYGON (((30 20, 45 40, 10 40, 30 20)), ((15 5, 40 10, 10 20, 5 10, 15 5)))</code>                                        |
|                    |  | <code>MULTIPOLYGON (((40 40, 20 45, 45 30, 40 40)), ((20 35, 10 30, 10 10, 30 5, 45 20, 20 35), (30 20, 20 15, 20 25, 30 20)))</code> |
| GeometryCollection |  | <code>GEOMETRYCOLLECTION (POINT (40 10), LINESTRING (10 10, 20 20, 10 40), POLYGON ((40 40, 20 45, 45 30, 40 40)))</code>             |

## Objectos geométricos: dimensão, interior, exterior e fronteira

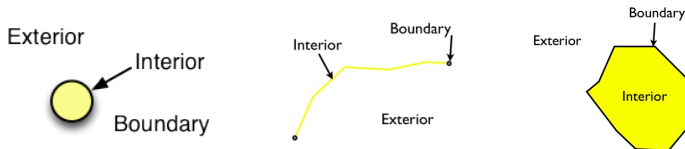
Objectos do tipo “ponto” ( $p$ ) têm **dimensão 0**,

Objectos do tipo “linha” ( $L$ ) têm **dimensão 1**,

Objectos do tipo “polígono” ( $P$ ) têm **dimensão 2**

Os objectos geométricos têm **Interior**, **Fronteira** e **Exterior**:

- 1 Se  $p$  é do tipo ponto, então  $I(p) = p$ ,  $F(p)$  é vazio, e  $E(p)$  são todos os pontos que não estão em  $p$ ;
- 2 Se  $L$  é do tipo linha, então  $F(L)$  são os extremos da linha,  $I(L)$  são todos os pontos da linha excepto os extremos, e o exterior  $E(L)$  são todos os outros pontos;
- 3 Se  $P$  é do tipo polígono,  $F(P)$  é a fronteira,  $I(P)$  é o conjunto de pontos de  $P$  que não estão na fronteira e  $E(P)$  são os restantes pontos.



## Objectos geométricos *singlepart* e *multipart*

Um objecto geométrico (que é a representação geométrica associada a **uma feature**) pode ter **uma ou mais partes**.

- 1 Para **objectos do tipo “ponto”** : uma feature está associada a
  - ▶ um único ponto (*singlepart*); ou
  - ▶ mais de um ponto (*multipart*).
- 2 Para **objectos do tipo “linha”** : uma feature está associada a
  - ▶ uma única linha poligonal (*singlepart*); ou
  - ▶ uma colecção de linhas poligonais (*multipart*).
- 3 Para **objectos do tipo “polígono”** cada parte pode ou não ter um ou mais *buracos*. Uma feature pode estar associada a
  - ▶ uma única parte positiva (*singlepart*) sem *buracos*;
  - ▶ uma parte positiva com um ou mais *buracos* no seu interior (*singlepart*);
  - ▶ mais do que uma parte positiva com ou sem *buracos* nos seus interiores (*multipart*).

Um “polígono” *singlepart*, com ou sem buracos, é sempre **especialmente conexo**, i.e. é possível unir dois quaisquer pontos no seu interior. Consequentemente, qualquer *feature* **não conexa** tem que estar associada a um objecto *multipart*.

## Objectos geométricos *singlepart* e *multipart*: exemplos

Em seguida ilustram-se alguns casos para objectos do tipo “polígono” que representam **áreas protegidas** em Portugal (ICNF, 2014)

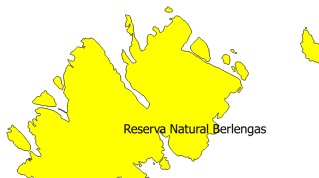
Objecto geométrico *singlepart* com uma única parte e sem *buracos*



Objecto geométrico *singlepart* com uma única parte e 5 *buracos*. Note-se que é **conexo**.



Objecto geométrico *multipart* com várias partes. Note-se que é **não conexo**



## Conversão de *multipart* em *singlepart*

As aplicações SIG incluem tipicamente uma operação que permite converter *features multipart* em *singlepart*. Tipicamente é usada para **garantir que as *features* resultantes são espacialmente conexas**.

**Exemplo.** No slide anterior foram representadas algumas *features* do cdg de áreas protegidas do ICNF. A operação descrita pelo diagrama seguinte não altera a representação do Parque Natural do Alvão ou da Paisagem Protegida da Serra de Montejunto, dado que são *features singlepart*, mas substitui a *feature* correspondente à Reserva Natural das Berlengas por um conjunto de novas *features singlepart*, sendo cada uma dessas novas *features* espacialmente conexas.

A operação preserva os atributos e os seus valores, replicando-os quando necessário. Neste caso, são criadas várias *features* com designação “Reserva Natural das Berlengas”.

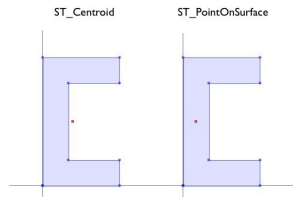




## Métodos básicos sobre objectos geométricos: área, perímetro e controide

Todos os objectos geométricos têm algumas propriedades básicas que dependem do seu tipo. Por exemplo:

- 1 (length) Um objecto do tipo “linha” tem um **comprimento**, que é o comprimento da linha poligonal, ou seja a soma das distâncias entre os seus vértices sucessivos. O comprimento de uma linha *multipart* é a soma dos comprimentos das suas partes:
- 2 (area) A **área** é uma propriedade de objecto do tipo “polígono”; A área de um objecto *multipart* é a soma das áreas das partes.
- 3 (centroid) centro de gravidade dos vértices, que pode não estar sobre o objecto;
- 4 (PointOnSurface) devolve um ponto situado obrigatoriamente sobre o objecto.



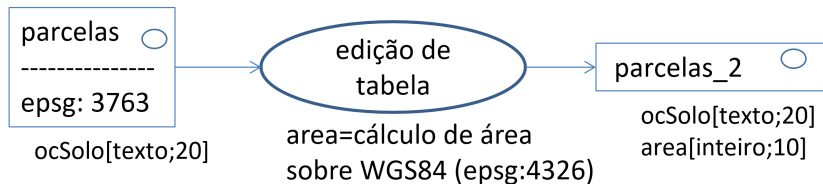
## Diagrama de operações: cálculo de área

O cálculo de distâncias, áreas num SIG pode ser realizado sobre um plano, uma esfera ou um elipsoide oblato (achatado). A recomendação do Open Geospatial Consortium (OGC) é que o cálculo seja realizado sobre o elipsoide, embora o cálculo sobre o plano ou sobre a esfera seja uma boa aproximação para áreas pequenas.

Dados 2 pontos com coordenadas  $\{(x_1, x_2), (y_1, y_2)\}$  num certo sistema de coordenadas de referência, é necessário indicar qual é a medida de distância entre esses 2 pontos, o que pode ser feito indicando a superfície (plana, esférica ou elipsoidal oblata) sobre a qual a distância é medida.

## Diagrama de operações: cálculo de área (cont.)

No diagrama abaixo o CRS do input é ETRS89-TM-PT06 com o código EPSG 3763 (ver Slide 191), para o qual a unidade das coordenadas cartográficas é **metro**, e a *area* do *output* terá também como unidades  $m^2$ , mas o cálculo é realizado usando o elipsoide WGS84. Não é obrigatório indicar o CRS no *output* pois não é alterado pela operação.



## Métodos para testar relações espaciais entre objectos geométricos

A norma OGC/ISO (ver Slide 59) define um conjunto de operadores com valor lógico (**V** ou **F**) para testar **relações espaciais** entre objectos geométricos do tipo “ponto” (p), “linha” (L) ou “polígono” (P).

- 1 **Equal**: os objectos coincidem;
- 2 **Disjoint**: os objectos não têm pontos em comum;
- 3 **Touches** aplica-se a 2 objectos desde que algum tenha dimensão maior que 0: *a Touches b* se as fronteiras se intersectam;
- 4 Para *a/b* de tipo p/L, p/P, L/L or L/P, *a Crosses b* se os objectos se intersectam mas nenhum contém o outro;
- 5 *a Within b* se *a* não intersecta o exterior de *b*;
- 6 **Overlaps** aplica-se a objectos com mesma dimensão: é **TRUE** se os objectos se intersectam mas nenhum contém o outro;
- 7 *a Contains b* se *b* Within *a*;
- 8 *a Intersects b* se *a* e *b* têm algum ponto em comum;
- 9 **Relates** permite definir qualquer relação espacial.

# Relações espaciais entre objectos geométricos (ilustração)

## Overlap

## Touch

## Cross



Multipoint & Linestring



Linestring & Multipolygon



Multipoint & Polygon



Linestring & Multipolygon



Multipoint & Multipoint



Linestring & Linestring



Polygon & Polygon



Point & Linestring



Multipoint & Linestring



Linestring & Polygon



Linestring & Polygon



Point & Polygon



Multipoint & Polygon

## Within/Contains

## Disjoint

## Intersects



Point & Multipoint



Multipoint & Multipoint



Point & Linestring



Multipoint & Linestring



Linestring & Linestring



Linestring & Polygon



Point & Polygon



Multipoint & Polygon



Point & Multipoint



Multipoint & Multipoint



Point & Linestring



Multipoint & Linestring



Linestring & Linestring



Linestring & Polygon



Multipoint & Polygon



Polygon & Polygon



Point & Multipoint



Multipoint & Multipoint



Point & Linestring



Multipoint & Linestring



Linestring & Linestring



Linestring & Polygon



Multipoint & Polygon



Linestring & Multipolygon

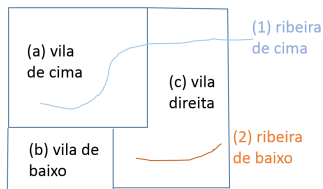
# Métodos para testar relações espaciais entre objectos geométricos: resultado como matriz lógica

Considerem-se dois cdg vectoriais

- 1 cdg *ribeiras* do tipo “linha” com dois objectos *singlepart* (1 e 2) em que cada linha representa uma ribeira;
- 2 cdg *freguesias* do tipo “polígono” com 3 objectos *singlepart* (a, b, c) em que cada polígono representa uma freguesia.

Abaixo apresenta-se o resultado de testar a relação espacial

**Intersects:** “ribeiras **intersecta** freguesias”



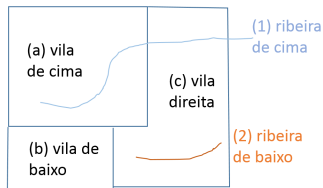
ribeiras

freguesias

| intersecta | a | b | c |
|------------|---|---|---|
| 1          | V | F | V |
| 2          | F | F | V |

## Métodos para testar relações espaciais entre objectos geométricos: resultado como matriz lógica (continuação)

- Relação espacial **Within** : “*ribeiras* **está contido em** *freguesias*”

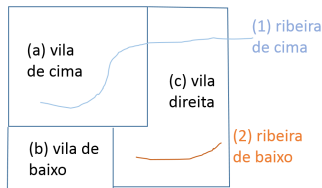


ribeiras

freguesias

| <b>está contido em</b> | a        | b        | c        |
|------------------------|----------|----------|----------|
| 1                      | <b>F</b> | <b>F</b> | <b>F</b> |
| 2                      | <b>F</b> | <b>F</b> | <b>V</b> |

- O exemplo anterior é equivalente a usar a relação espacial **Contains** se se trocar a ordem dos *inputs*: “*freguesias* **contém** *ribeiras*”



freguesias

ribeiras

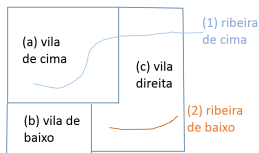
| <b>contém</b> | 1        | 2        |
|---------------|----------|----------|
| a             | <b>F</b> | <b>F</b> |
| b             | <b>F</b> | <b>F</b> |
| c             | <b>F</b> | <b>V</b> |

## Seleccção por localização

No Slide 53 foi definida a operação de selecção sobre cdg vectoriais.

Em complemento à operação de **selecção por atributos** discutida anteriormente, pode usar-se testes a relações espaciais para efectuar uma **selecção por localização**. A diferença com a selecção por atributos é que a expressão lógica usada para fazer a selecção é definida a partir do resultado do teste à relação espacial.

**Exemplo:** determinar as freguesias que são intersectadas por alguma das ribeiras. A análise do resultado de “freguesias **intersecta** ribeiras”,



| freguesias | ribeiras   |   |
|------------|------------|---|
|            | intersecta |   |
| a          | V          | F |
| b          | F          | F |
| c          | V          | V |

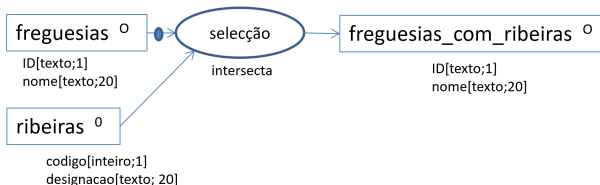
mostra que as freguesias **a** e **c** verificam a relação espacial para **pelos menos um** dos objectos do cdg **ribeiras**. Assim, a selecção das freguesias devolve um novo cdg apenas com as freguesias **a** e **c**.



## Diagrama para representar a operação de selecção por localização

A operação de **selecção por localização** é uma operação de selecção em que o valor da expressão lógica resulta de um teste a uma relação espacial entre dois cdg vectoriais. Assim essa operação tem dois *inputs*: o cdg em que é realizada a selecção e o cdg auxiliar usado para testar a relação espacial.

O diagrama para exemplo do slide anterior (que usa o teste “freguesias **intersecta** ribeiras”) é:



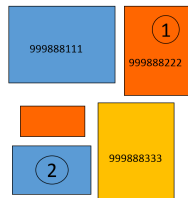
em que o *output* foi designado por **freguesias\_com\_ribeiras**. Os seus atributos são os mesmos do cdg **freguesias** mas tem tipicamente um menor número de linhas. O símbolo • indica que **freguesias** é o *input* principal, no qual a selecção é efectuada.

## Seleção por localização: objectos multipart

Considere o seguinte exemplo com dois cdg.

- 1 *propriedades*, um cdg para do tipo “polígono” para representar o cadastro, em que cada *feature* representa a(s) parcelas(s) de cada proprietário. Existem 3 *features*, duas das quais são *multipart*. Os atributos são o NIF do proprietário e a área da *feature*, determinada como descrito no Slide 67.
- 2 *pocos*, um cdg do tipo “ponto”, em que cada *feature* representa um poço. Os atributos são o código do poço e a sua profundidade em metros.

Pretende determinar-se quais são as propriedades do cadastro que contém algum poço.



| propriedades |       |
|--------------|-------|
| NIF          | area  |
| 999888111    | 50000 |
| 999888222    | 35000 |
| 999888333    | 40000 |

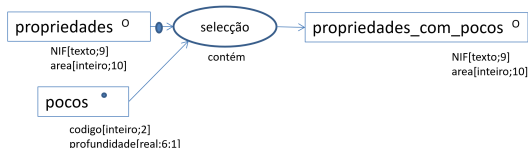
| pocos  |              |
|--------|--------------|
| codigo | profundidade |
| 1      | 6.1          |
| 2      | 8.3          |

## Seleção por localização: objectos multipart (continuação)

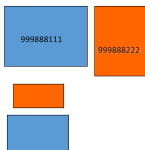
No exemplo anterior a operação de selecção é baseada na relação espacial **contém** (Contains). O resultado do teste “propriedades **contém** pocos” e o diagrama da operação são:

propriedades

| pocos     |   |   |
|-----------|---|---|
| contém    | 1 | 2 |
| 999888111 | F | V |
| 999888222 | V | F |
| 999888333 | F | F |



Como a 1ª e 2ª features de propriedades verificam a relação **contém** para **alguma** feature de pocos, o cdg propriedades\_com\_pocos tem essas 2 features e respectivos atributos:



| NIF       | area  |
|-----------|-------|
| 999888111 | 50000 |
| 999888222 | 35000 |

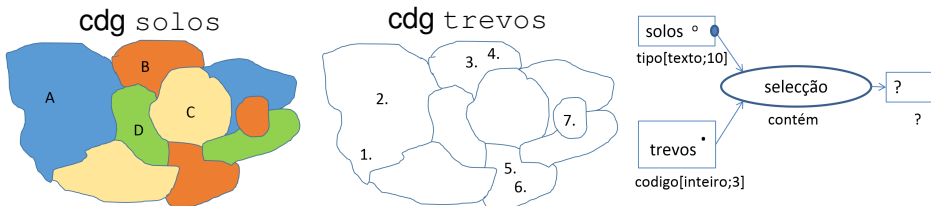
## Seleção por localização: exercício

Um SIG contém dois cdg vectoriais representados abaixo:

- 1 um cdg `solos` do tipo “polígono” com 4 *features multipart* que representam 4 tipos de solo; e
- 2 um cdg `trevos` do tipo “ponto” com 7 *features* indicando as localizações de uma espécie de trevos.

Pretende saber-se em que tipos de solo ocorre essa espécie.

Represente o resultado do teste à relação espacial **contém** (Contains) como uma matriz lógica. Represente o *output* da operação de selecção completando o diagrama e indicando quais são as *features* seleccionadas.



## Seleccção por atributos e por localização: exercícios

Considere dois cdg vectoriais de polígonos `concelhos` (com os atributos `DTCC` e `designacao`, cujos valores são os nomes dos concelhos) e `areas_ardidas` (com o atributo `codigo`, cujos valores são 1,2, ..., e que enumera as áreas ardidas).

Cada polígono do cdg `concelhos` representa um concelho de Portugal Continental. Cada polígono de `areas_ardidas` representa uma área ardida num certo ano.

Use **operações de selecção** para resolver cada um dos problemas abaixo e responda com o correspondente diagrama de operações.

- 1 Determinar as áreas ardidas que afectaram o concelho de Águeda;
- 2 Determinar os concelhos que foram atingidos pela área ardida 52;
- 3 Determinar as áreas ardidas que não atingiram mais do que um concelho;
- 4 Determinar quais os concelhos que não foram atingidos por incêndios.

## Seleção por atributos e por localização: solução exercício

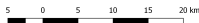
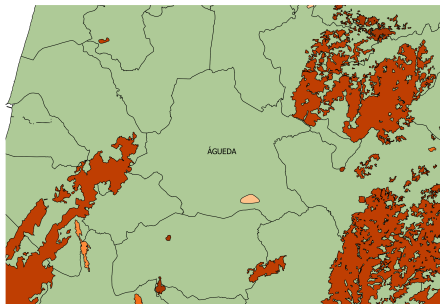
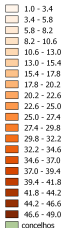
Nota: os dados reais para o exercício podem ser obtidos no Registo Nacional de Dados Geográficos (SNIG):

- 1 Os concelhos podem ser identificados na Carta Administrativa Oficial de Portugal (DGT)
- 2 As áreas ardidas podem ser encontradas na Cartografia Nacional de Áreas Ardidas (ICNF)

Na figura abaixo, a legenda corresponde às semanas do ano 2017:

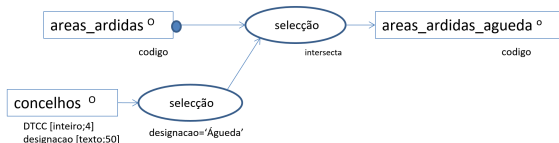
Semana de 2017

EFFIS\_Sentinel\_Landsat20180105



# Seleção por atributos e por localização: solução exercício

Alínea 1 (áreas ardidas em Águeda):



Alínea 4 (concelhos não atingidos por incêndios):



Neste último caso, o operador lógico **NOT** indica que o vector lógico resultante do teste à relação espacial `intersecta` é negado. Assim, a selecção dos concelhos é invertida, e os concelhos que não intersectam nenhuma área ardida são devolvidos.

## Métodos que suportam análise espacial

A norma OGC/ISO (ver Slide 59) define operadores que devolvem a **distância** entre objectos geométricos ou **novos objectos geométricos** de acordo com alguma relação espacial. Dados objectos  $a$  e  $b$ :

- 1 **Distance** devolve a distância mais curta entre pontos de  $a$  e de  $b$ ;
- 2 **Buffer** de  $a$  com distância  $d$  devolve o objecto geométrico cujos pontos estão a uma distância menor ou igual a  $d$  de  $a$ ;
- 3 **ConvexHull** de  $a$  devolve um objecto geométrico que é o invólucro convexo de  $a$ ;
- 4 **Intersection** devolve o objecto geométrico cujos pontos estão em  $a$  e em  $b$ ;
- 5 **Union** devolve o objecto geométrico cujos pontos estão em  $a$  ou em  $b$ ;
- 6 **Difference** entre  $a$  e  $b$  devolve o objecto geométrico com os pontos que estão em  $a$  mas não em  $b$  (operação não comutativa);
- 7 **Symmetric Difference** entre  $a$  e  $b$  devolve o objecto geométrico cujos pontos satisfazem **apenas uma** das condições: (1) estão em  $a$  mas não em  $b$ ; (2) estão em  $b$  mas não em  $a$ .



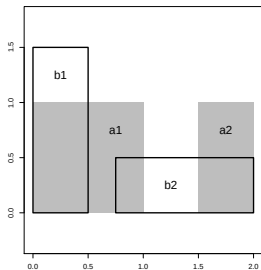
## Métodos que suportam análise espacial: distância

O método **Distance** permite calcular distâncias entre objectos geométricos de dois cdg. O resultado é uma **matriz de distâncias**, das distâncias entre objectos  $a$  do cdg A e os objectos  $b$  do cdg B.

O exemplo abaixo mostra dois cdg do tipo “polígono” no mesmo sistema de coordenadas:

- 1 cdg A com objectos *singlepart*  $a1$  e  $a2$  (a cinzento),
- 2 cdg B, com objectos *singlepart*  $b1$  e  $b2$  (só contorno)

À direita mostra-se a matriz de distâncias que indica que neste exemplo apenas o par ( $b1$ ,  $a2$ ) tem uma distância não nula.

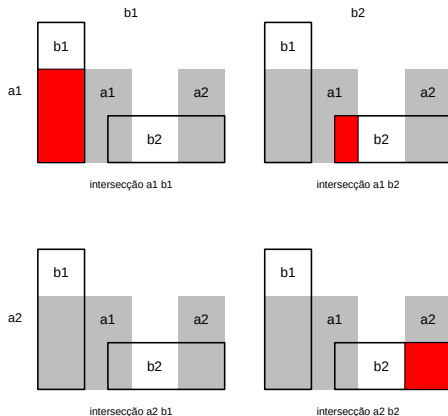
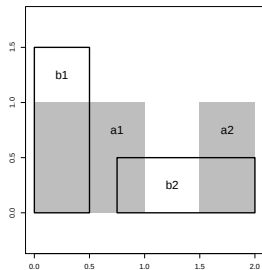


| distância | b1   | b2   |
|-----------|------|------|
| a1        | 0.00 | 0.00 |
| a2        | 1.00 | 0.00 |

## Métodos que suportam análise espacial: **Intersection**

O método **Intersection** cria novos objectos geométricos derivados dos objectos geométricos existentes. É aplicado a cada par de objectos  $(a,b)$ , em que  $a$  pertence ao cdg A e  $b$  pertence ao cdg B.

Neste exemplo com 4 pares de objectos *singlepart*, o *output* de **Intersection** é constituído pelos 3 objectos a vermelho abaixo (pois  $a_2$  e  $b_1$  não se intersectam).

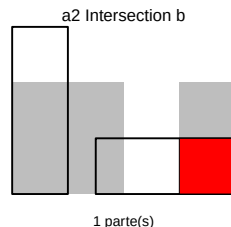
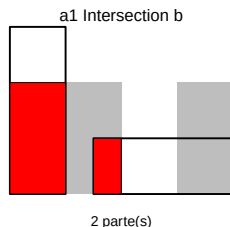
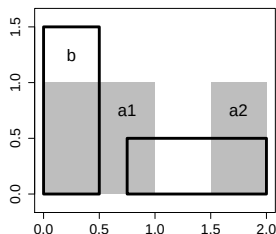


## Métodos que suportam análise espacial: **Intersection** com objectos geométricos *multipart*

No exemplo abaixo,

- o cdg A tem dois objectos geométricos *singlepart*  $a_1$  e  $a_2$  (correspondentes portanto a duas *features*), e
- o cdg B tem um objecto geométrico *multipart*  $b$  (corresponde a uma única *feature*).

Como anteriormente a operação é aplicada a todos os pares  $(a,b)$  de objectos ( $a$  em A e  $b$  em B). Neste caso há dois pares  $(a_1,b)$  e  $(a_2,b)$  e o *output* tem os dois objectos geométricos a vermelho abaixo, sendo o objecto à esquerda *multipart* e o à direita *singlepart*.

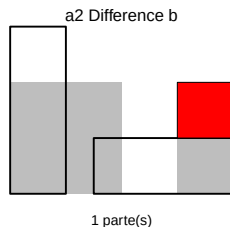
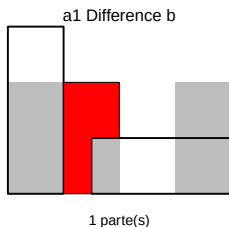
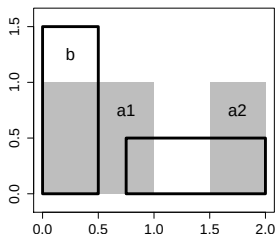


## Métodos que suportam análise espacial: **Difference**

O método **Difference** é também aplicado a todos os pares de objectos de A e B e **depende da ordem dos inputs**. No exemplo abaixo,

- o cdg A tem dois objectos geométricos *singlepart*  $a_1$  e  $a_2$  (correspondentes portanto a duas *features*), e
- o cdg B tem um único objecto geométrico *multipart*  $b$  (corresponde portanto a uma única *feature*).

Como neste caso há dois pares  $(a_1, b)$  e  $(a_2, b)$  de objectos, o *output* de **Difference** tem os dois objectos a vermelho abaixo, sendo neste caso ambos *singlepart*.

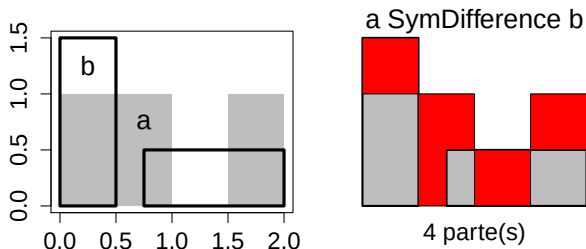


## Métodos que suportam análise espacial: Symmetric Difference

Ao contrário de **Difference**, o resultado do método **Symmetric Difference** não depende da ordem dos *inputs*. No exemplo abaixo,

- o cdg A tem um único objecto geométrico *multipart* *a* (corresponde portanto a uma única *feature*), e
- o cdg B tem um único objecto geométrico *multipart* *b* (corresponde também a uma única *feature*).

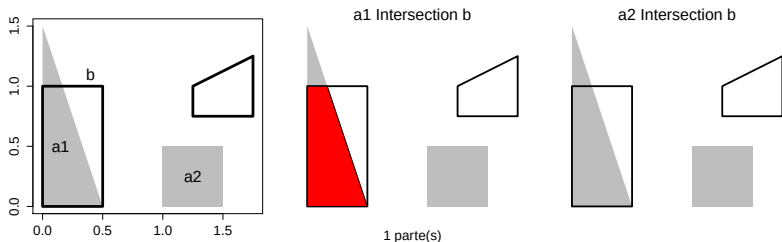
A operação é então aplicada ao único par (*a*,*b*) de objectos (*a* em A e *b* em B). Neste exemplo, o *output* tem um único objecto *multipart* com 4 partes: as regiões em *a* e não em *b* e as regiões em *b* e não em *a*.



## Métodos que suportam análise espacial: exercício

Considere o cdg A abaixo, com objectos geométricos *singlepart* a1 e a2, a cinzento, e o cdg B, com um único objecto geométrico *multipart* b representado pelos 2 polígonos só com contorno. A vermelho, está representado o resultado do método **Intersection**.

- 1 Determine a matriz de distâncias entre A e B;
- 2 Esboce o resultado de “A **Difference** B”;
- 3 Mostre que o resultado de **Symmetric Difference** sobre a1 e b tem 3 partes.



## Métodos que suportam análise espacial: *buffer*

A determinação de *buffers* é uma operação muito usada em SIGs pois permite definir a *área de influência* ou *área de protecção* em torno de uma entidade geográfica.

No exemplo mostra-se um *buffer* de 200 m em torno da Paisagem Protegida da Serra de Montejunto. Como discutido no Slide 65, o objecto geométrico que representa esta entidade tem uma parte e 5 *buracos*. Neste exemplo, o *buffer* reduz ou mesmo elimina esses *buracos*.



Notas: O argumento “distância” pode ser negativo, dando origem a regiões mais pequenas do que o *input*. Existem parâmetros adicionais que determinam, por exemplo,

- 1 a forma do buffer no extremo de uma linha,
- 2 a criação de um *buffer* para cada *feature*, ou a criação de um único objecto geométrico para a totalidade do cdg.

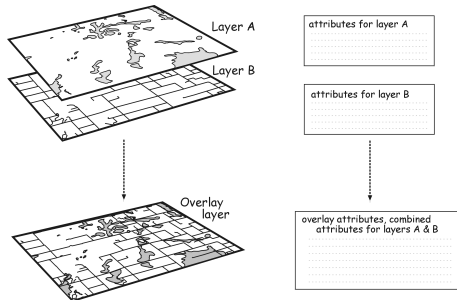
## Sobreposição vectorial (*map overlay*)

Todas os métodos que suportam análise espacial vistos anteriormente *operam sobre os objectos geométricos mas não operam sobre as tabelas de atributos*.

Designa-se por **sobreposição vectorial** qualquer operação espacial genérica sobre um ou mais cdg com o mesmo sistema de coordenadas, que se aplica às *features* (objectos geométricos e atributos).

Sobreposição vectorial envolve portanto:

- 1 análise espacial de objectos geométricos dos cdg (ver Slide 82 );
- 2 operações associadas sobre as **tabelas de atributos** dos cdg.



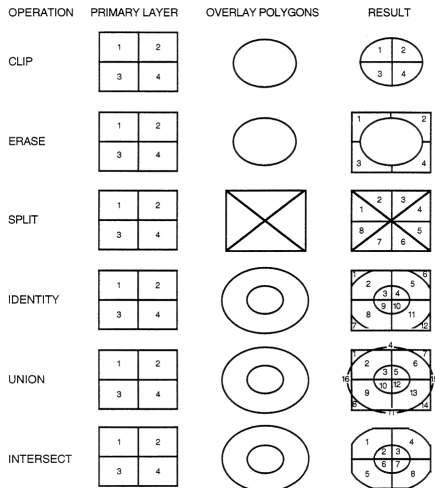


## Sobreposição vectorial (continuação)

Cada aplicação de SIG (e.g. QGIS, ArcGIS, GeoMedia, etc) contém um grande número de funções de sobreposição vectorial que respondem às necessidades sentidas pelos utilizadores para análise geoespacial.

Algumas dessas operações são muito comuns e são disponibilizadas nas diferentes aplicações de SIG:

- 1 **intersecção** (Slide 93);
- 2 **união** (Slide 94);
- 3 **geração de buffers** (Slide 99);
- 4 **dissolução** (Slide 103);
- 5 **recorte** (clip, ver Slide 104);
- 6 **diferença** (Slide 109).



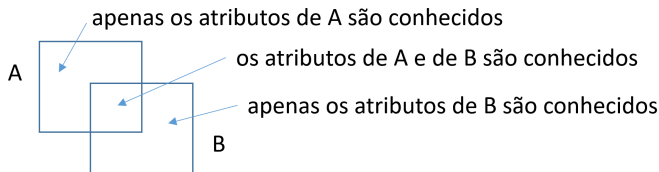
## Sobreposição vectorial: **intersecção** vs **união**

Ambas as operações de sobreposição vectorial **intersecção** e **união** **preservam os atributos** dos seus *inputs*. A tabela de atributos do resultado da operação contém por isso todos os atributos dos *inputs*.

A extensão espacial do resultado da operação é:

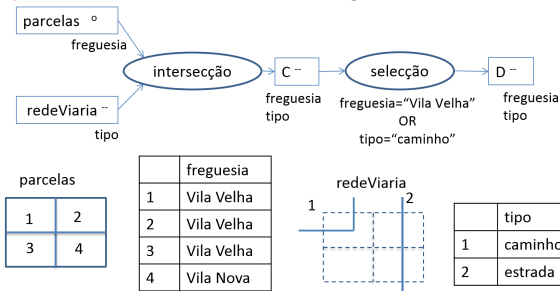
- Para a **intersecção** dos cdg A e B: é conjunto de localizações que estão em A **e** em B.
- Para a **união** dos cdg A e B: é conjunto de localizações que estão em A **ou** em B.

Para a **união**, pode haver localizações onde apenas se conhecem os atributos de A ou de B. Nessas localizações os atributos desconhecidos ficam indefinidos (`null`):

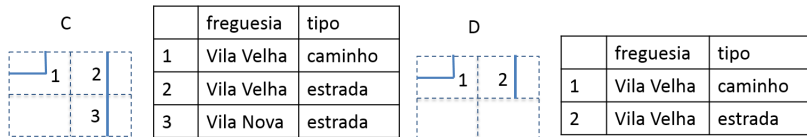


## Sobreposição vectorial: **intersecção**

A operação de intersecção define novas *features* pelo método respectivo (ver Slide 84 ). A operação **preserva todos os atributos dos dois cdg de input** como ilustrado no diagrama abaixo.



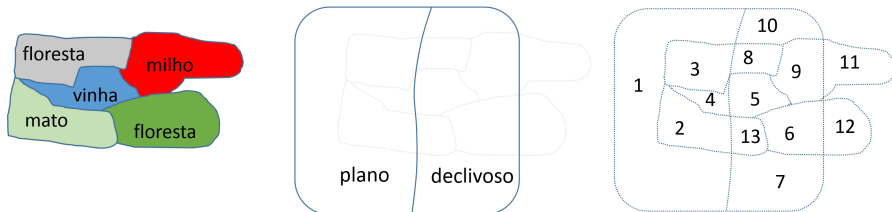
O *output* da operação de intersecção é um cdg com os atributos designacao e tipo:



## Sobreposição vectorial: **união**

A operação de união define novas *features* que espacialmente correspondem ao resultado de **Intersection** (ver Slide 84) e **Difference** (ver Slide 86). **Todos os atributos dos dois inputs estão no output**.

No exemplo abaixo, o 1º cdg tem atributo `ocSolo` e o 2º cdg tem atributo `clasDeclive`. O terceira figura representa os objectos geométricos resultante da aplicação da operação de **união**.

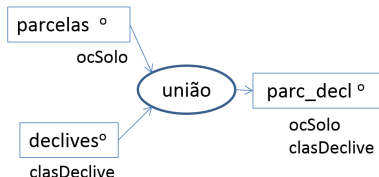


Na tabela de atributos do cdg de *output*:

- ❶ 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 e 13 têm valores para ambos os atributos;
- ❷ 1, 7 e 10 têm apenas valor para atributo `clasDeclive`;
- ❸ 11 e 12 têm apenas valor para atributo `ocSolo`.

## Sobreposição vectorial: **união** (continuação)

O exemplo do slide anterior pode ser descrito através do diagrama de operações abaixo, em que o 1º cdg tem nome `parcelas` e o 2º cdg tem nome `declives`.



objectos de `parc_decl`:

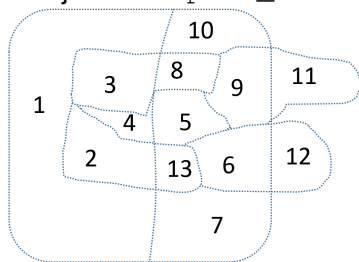
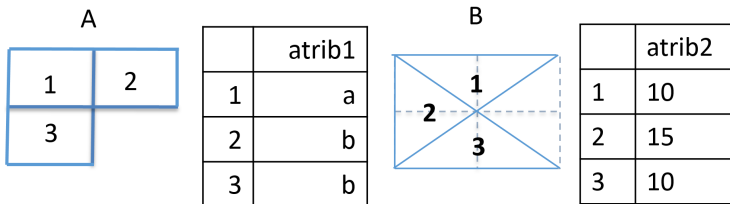


tabela de atributos de `parc_decl`:

|    | ocSolo   | clasDeclive |
|----|----------|-------------|
| 1  | null     | plano       |
| 2  | mato     | plano       |
| 3  | floresta | plano       |
| 4  | vinha    | plano       |
| 5  | vinha    | declivoso   |
| 6  | floresta | declivoso   |
| 7  | null     | declivoso   |
| 8  | floresta | declivoso   |
| 9  | milho    | declivoso   |
| 10 | null     | declivoso   |
| 11 | milho    | null        |
| 12 | floresta | null        |
| 13 | mato     | declivoso   |

## Sobreposição vectorial: exercício de exame

Considere os conjuntos de dados geográfico (cdg) de polígonos A e B e as suas respectivas tabelas de atributos. As coordenadas geográficas dos 3 vértices (superior esquerdo e direito, e inferior esquerdo) da região representada pelo cdg A coincidem com os de B.



O cdg C é obtidos pela execução do diagrama de operações seguinte. Represente o cdg C a sua tabela de atributos.



## Resolução da 1a parte do exercício do slide anterior

A intersecção dos cdg A e B faz-se em dois passos:

- Aplicação do método **Intersection** (ver Slide 84) para determinar os **5** objectos geométricos do cdg C (em baixo, a vermelho);
- Preenchimento da tabela de atributos com os valores da tabela de A e da tabela de B correspondentes aos **5** objectos criados.

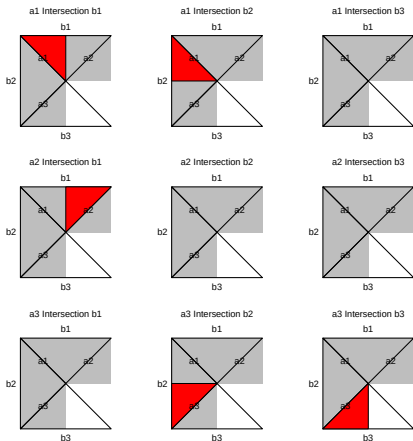


tabela de atributos de C:

(a1,b1):

(a1,b2):

(a2,b1):

(a3,b2):

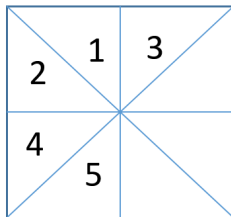
(a3,b3):

|   | atrib1 | atrib2 |
|---|--------|--------|
| 1 | a      | 10     |
| 2 | a      | 15     |
| 3 | b      | 10     |
| 4 | b      | 15     |
| 5 | b      | 10     |

Nota: as intersecções **pontuais** (e.g. a1 com b3) não originam polígonos. Assim, não originam objectos de C dado que C é um cdg vectorial do tipo “polígono”.

## Solução do exercício

- Os objectos geométricos do cdg C e a tabela de atributos são:



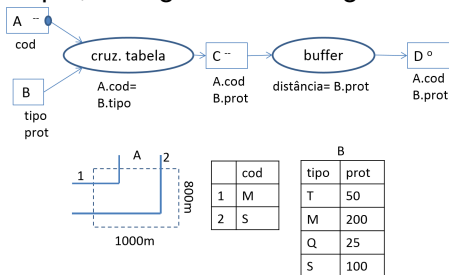
|   | atrib1 | atrib2 |
|---|--------|--------|
| 1 | a      | 10     |
| 2 | a      | 15     |
| 3 | b      | 10     |
| 4 | b      | 15     |
| 5 | b      | 10     |



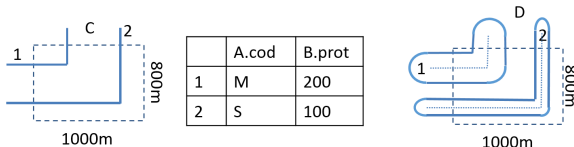
## Sobreposição vectorial: **geração de buffers**

Esta operação tem um único cdg de *input* que pode ser do tipo “ponto”, “linha” ou “polígono”. A distância para buffer pode ser: (1) um parâmetro fixo, ou (2) pode ser definida por um dos atributos do cdg.

Considere, por exemplo, o diagrama e os cdg A e B seguintes:



Os objectos geométricos e atributos de cdg C e D são então:



## Sobreposição vectorial: exame de 8 de junho de 2016

Suponha que um SIG tem o seguintes cdg:

- Um cdg do tipo “polígono” com os limites de povoações, código, nome e número de habitantes:  
`povoacoes(codPov, nomePov, numHab)`
- Um cdg do tipo “ponto” com a localização de árvores notáveis, o seu código e a espécie:  
`notaveis(ID, especie)`
- Um cdg do tipo “linha” com a localização, código e nome de rios:  
`rios(codigo, nomeRio)`

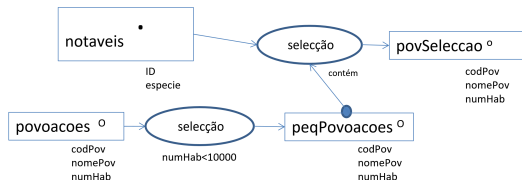
Para cada uma das questões abaixo, apresente um diagrama de operações que mostre como se obtém a respectiva resposta. O diagrama de operações deve indicar os nomes dos conjuntos de dados, o seu tipo e os seus atributos atributos, e também nomes, parâmetros e prioridade (quando se aplique) das operações. As operações que pode usar são *selecção*, *geração de buffers* e *intersecção*.

## Sobreposição vectorial: exame de 8 de junho de 2016 (cont.)

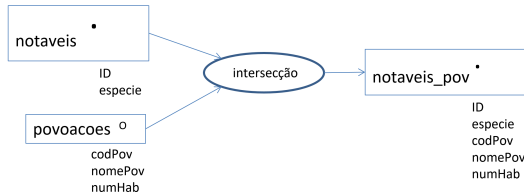
- 1 Identificar as povoações com menos de 10000 habitantes que contém pelo menos uma árvore notável;
- 2 Associar a cada árvore notável o nome da povoação a que pertence, caso pertença a alguma (i.e. a tabela de atributos do resultado deverá ter as colunas `ID` e `nomePov`);
- 3 Determinar as árvores notáveis que se situam a menos de 100 m de um rio.

# Sobreposição vectorial: uma solução possível para o exercício

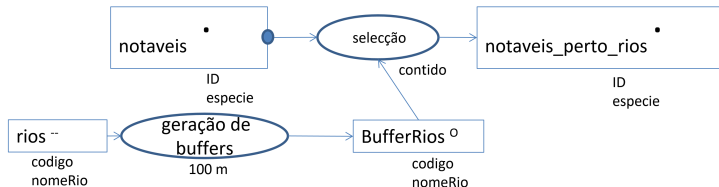
1



2



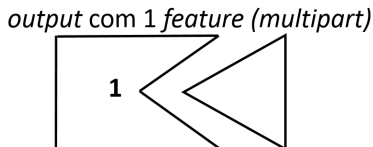
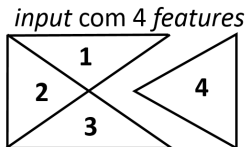
3



## Sobreposição vectorial: **dissolução**

A operação de **dissolução** tem um único cdg de *input* e **pode ter como parâmetro adicional um dos seus atributos**.

- 1 **Dissolução sem atributo.** Caso não haja parâmetro adicional, o *output* tem simplesmente uma *feature* (possivelmente *multipart*) que corresponde à totalidade das *features* do *input*, com **as fronteiras interiores eliminadas**:



- 2 **Dissolução por um atributo.** Neste caso, a operação descrita na alínea anterior é **aplicada a cada subconjunto das features com valor idêntico para esse atributo**. O tabela de atributos do *output* preserva apenas esse atributo e tem tantas linhas como valores distintos que o atributo toma (ver exemplo em Slide 107).

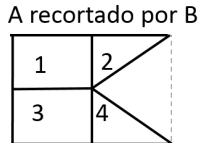
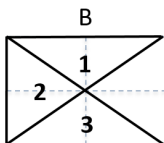
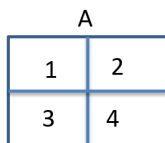
## Sobreposição vectorial: recorte

A operação de **recorte**, conhecida pela designação **clip**, tem dois *inputs*: um *input* principal e um *input* auxiliar.

As operações de **recorte** (*clip*) e de **intersecção** originam um *output* com extensão espacial idêntica, mas o *output* da operação de **intersecção** tipicamente contém um maior número de *features* e um maior número de atributos.

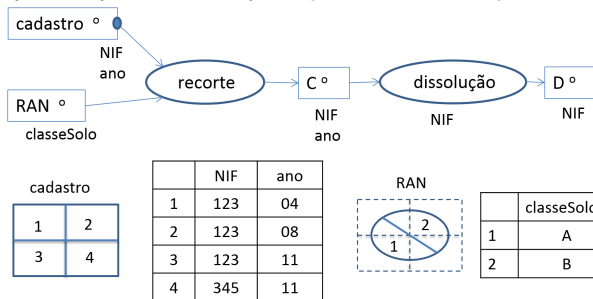
No exemplo abaixo, o cdg A tem 4 *features* e o cdg B tem 3 *features*.

- A intersecção entre A e B contém todas as intersecções entre os objectos de A e os objectos de B (ver Slide 84), mas
- O **recorte** usa B como se fosse uma única *feature multipart* (ver Slide 85), i.e. usa a dissolução de B (sem atributo) em vez de B.

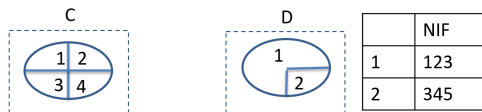


## Sobreposição vectorial: exemplo de **recorte** e **dissolução**

Neste exemplo, faz-se o recorte do cdg `cadastro` pelo cdg `RAN` (cdg auxiliar). Depois, aplica-se a operação de dissolução usando `NIF`.



Note-se que os objectos de `RAN` são irrelevantes para o *output* do **recorte**: só a região definida por `RAN` interessa. Consequentemente, a tabela de atributos de `C` é igual à tabela de atributos de `cadastro`.



## Sobreposição vectorial: **dissolução** e **multipart** para **singlepart**

Considere o seguinte diagrama de operações sobre o *input* do cdg de tipo “polígono” `regiaoAdeq`:



*input* (3 objectos *multipart*):



*output* (2 objectos *singlepart*):



### Exercício:

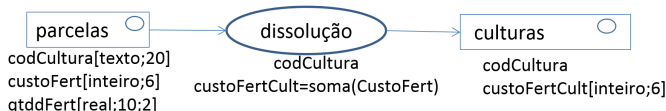
- 1 Complete o diagrama;
- 2 Explique porque é que os objectos do *output*
  - (a) não tem fronteiras em comum (i.e não se “tocam”);
  - (b) são, cada um deles, espacialmente conexos.



## Sobreposição vectorial: dissolução e agrupamento

A operação de **dissolução** origina novas *features* que resultam da agregação de *features* do *input*. Um agregado corresponde a um subconjunto de linhas da tabela de atributos.

A operação de dissolução permite **aplicar uma função aos valores de um atributo** de cada agregado como no exemplo seguinte.



Para cada *feature* do `cdg culturas`,

- 1 o objecto geométrico resulta da dissolução de todas as parcelas com o mesmo valor de `codCultura`;
- 2 o atributo `codCultura` toma esse valor comum;
- 3 o novo atributo `custoFertCult` vai conter a soma de todos os valores de `custoFert` para todas as parcelas com a mesma cultura.

## Sobreposição vectorial: **dissolução e agrupamento** (continuação)

Para o exemplo do slide anterior, as tabelas de atributos dos cdg `parcelas` e `cultura` poderiam ser algo como as seguintes tabelas:

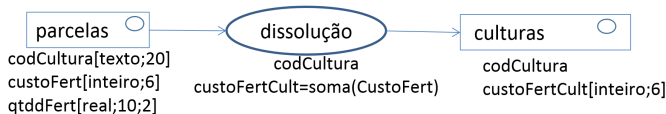
cdg `parcelas`

|   | codCultura | custoFert | qtddFert |
|---|------------|-----------|----------|
| 1 | cenoura    | 2345      | 250.0    |
| 2 | batata     | 1200      | 220.0    |
| 3 | nabo       | 2100      | 120.0    |
| 4 | cenoura    | 4250      | 320.0    |
| 5 | cenoura    | 3450      | 340.0    |
| 6 | batata     | 1430      | 180.0    |
| 7 | batata     | 1520      | 195.0    |

cdg `culturas`

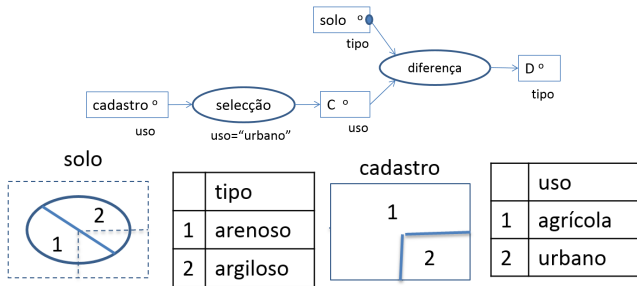
|   | codCultura | custoFertCult |
|---|------------|---------------|
| 1 | cenoura    | 10045         |
| 2 | batata     | 4150          |
| 3 | nabo       | 2100          |

Confirmar que as tabelas são consistentes com o diagrama da operação:

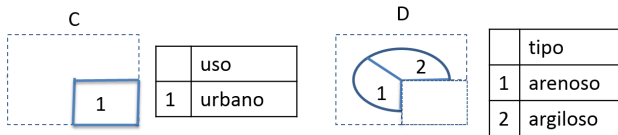


## Sobreposição vectorial: diferença

A operação de **diferença** tem dois *inputs*: um cdg principal e um cdg auxiliar. Tal como o **recorte**, a diferença **dissolve** o *input* auxiliar antes de aplicar o método **difference** (ver Slide 86). Os atributos do cdg de *input* principal e do cdg de *output* são idênticos.



**solo** é o *input* principal da operação de **diferença**. O resultado é:



## Análise de dados matriciais (*raster*)

## Conjuntos de dados geográficos matriciais (*raster*)

O formato matricial é em geral o mais adequado para representar **fenómenos distribuídos no espaço de forma contínua** (ver discussão no Slide 16).

O formato matricial organiza a informação geográfica numa **grelha regular** como descrito no Slide 22.

Os dados geográficos em formato matricial surgem tipicamente nas seguintes situações:

- 1 Imagens obtidas por detecção remota;
- 2 Dados geográficos compilados numa grelha regular;
- 3 Amostragem regular de dados com distribuição contínua;
- 4 Interpolação espacial de dados pontuais (e.g. precipitação interpolada a partir das observações em estações meteorológicas).

## Representação *raster* versus vectorial

A representação vectorial é considerada em geral mais adequada para representar **formas geométricas** pois permite alteração de escala da representação sem perda de precisão e de contraste. A conversão de formato vectorial em *raster* pode ser problemática dada a resolução fixa (tamanho do pixel) do formato *raster*.



RASTER IMAGE

VECTOR IMAGE

A representação precisa dos contornos de entidades geográficas isoladas em formato *raster* pode exigir uma resolução muito fina, correspondente a ficheiros de dados muito pesados. Em contrapartida, as operações de sobreposição de dados são em geral mais eficientes no formato *raster* (**sobreposição matricial**) do que no formato vectorial (**sobreposição vectorial**).

## Formatos de dados do tipo matricial (*raster*)

Existem muitos formatos de dados do tipo *raster*, que permitem guardar a informação dos valores de uma imagem de forma eficiente. Os SIGs tem a capacidade de ler muitos formatos distintos.

Um conjunto de dados geográfico matricial (*raster*) é também designado por **imagem** georreferenciada. Como uma imagem tem  $n$  linhas e  $m$  colunas, o número de pixels (ou células) é  $n \times m$ , que pode ser um número muito grande. Isto significa que os ficheiros de dados podem ser pesados.

No entanto, dado que existem em geral repetições dos valores dos pixels pode ser mais eficiente armazenar a informação num formato que não é simplesmente uma matriz  $n \times m$  de valores.

O formato de dados do tipo *raster* mais comum na actualidade é o formato GeoTIFF discutido no Slide 24.

## Principais características de um cdg matricial

Um cdg matricial é sempre um arranjo regular de pixels que é caracterizado por:

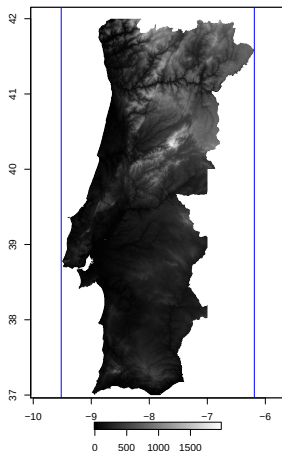
- 1 **Número de linhas** ( $n$ ) e **número de colunas** ( $m$ ) da imagem;
- 2 **Sistema de coordenadas** associado ao conjunto de dados; associa cada posição  $(i, j)$  da imagem, em que  $i$  é o índice da linha e  $j$  é o índice da coluna, uma coordenada geográfica ou cartográfica  $(x, y)$  num dado sistema de coordenadas de referência;
- 3 **Resolução espacial**: distância no terreno que correspondem ao lado do pixel; como as duas dimensões podem não ser iguais, a resolução é geralmente um vector com duas componentes com a resolução na direcção do  $x$  e dos  $y$ ;
- 4 **Extensão da imagem**: coordenadas dos cantos da imagem no sistema de coordenadas de referência;
- 5 **Domínio de valores**: conjunto numérico ao qual pertencem os valores da imagem;
- 6 **null**: símbolo arbitrário para os pixels sem valor.



## Principais características de um cdg matricial: exemplo

Porção do modelo digital de elevações SRTM (3 arco-segundos) que cobre a quase totalidade de Portugal Continental:

- 1  $n = 6231$ ,  $m = 3993$ ,  
 $n \times m = 24'880'383$  pixels;
- 2 Sistema de coordenadas: longitude e latitude em WGS84;
- 3 Resolução espacial:  $0.0008333853^\circ$  nas duas direcções;
- 4 Extensão da imagem:  
 $[9.517872^\circ W, 6.190164^\circ W] \times$   
 $[36.96097^\circ N, 42.15346^\circ N]$ ;
- 5 Existem 11'519'664 pixels sem valor associado (i.e. com valor `null`) que correspondem essencialmente às zonas com água (sem elevação dada pelo SRTM);

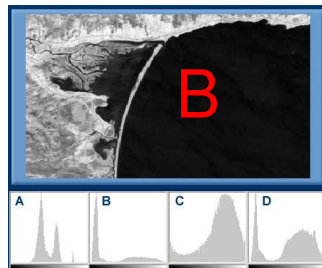
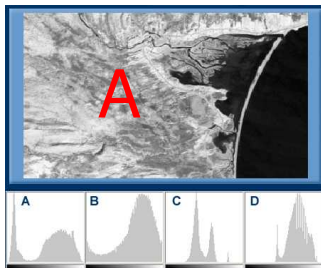
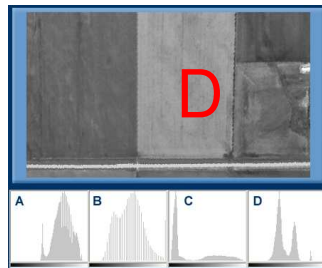


- 6 O domínio de valores é  $[-20, 1991]$ .

## Histogramas de imagens: exercício

O **histograma** de uma imagem é a distribuição das frequências dos valores dos pixels da imagem.

**Exercício:** Nas figuras junto, os pixels com menor valor são representados a escuro. Identifique o histograma correcto para cada imagem.



### (Intensidade de um pixel)

*É uma função crescente do valor do pixel que toma valores entre 0 e 1. Tipicamente, a intensidade 0 é representado em preto e a intensidade 1 é representada em branco.*

Seja  $z_{\max}$  um valor tal que todos os pixels com valor maior do que  $z_{\max}$  têm intensidade 1 (pixels brancos). Da mesma forma define-se  $z_{\min}$  como o valor tal que todos os pixels com valor abaixo de  $z_{\min}$  têm intensidade 0 (pixels pretos).

Assim, a imagem apenas apresenta contraste para valores entre  $z_{\min}$  e  $z_{\max}$ . A análise do histograma da imagem é útil para escolher  $z_{\min}$  e  $z_{\max}$  e alterar o contraste. Diz-se então que se faz uma transformação (*stretching*) do histograma.

# CDG matriciais: uso do histograma para alterar o contraste – exemplo

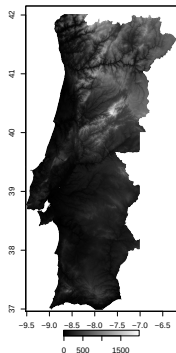


Imagem original sem modificação de contraste.

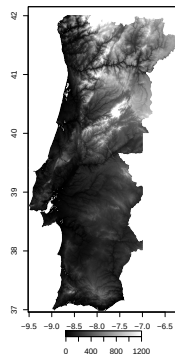
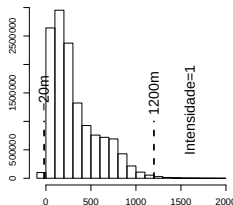
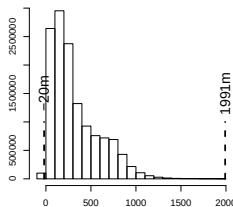
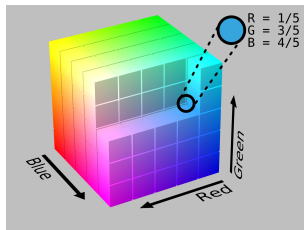


Imagem saturada para valores superiores a 1200m, com aumento de constraste entre -20m e 1200m.

## Composições coloridas de imagens

O modelo de cores RGB permite combinar, de forma aditiva, três imagens justapostas para criar uma composição colorida. A composição colorida é definida associando a 1a imagem ao canal *Red*; a 2a ao canal *Green*; e a 3a ao canal *Blue*.

Supondo que para um dado pixel, as três imagens tem intensidades respectivamente  $R$ ,  $G$  e  $B$  entre 0 e 1, a cor associada ao pixel na composição colorida corresponde ao esquema junto.



Exemplo  
no  
Ribatejo:



## Reamostragem de cdg matriciais

A reamostragem de um cdg matricial consiste permite representar esse cdg:

- 1 Num novo **sistema de coordenadas de referência**; e/ou
- 2 Com uma **extensão**; e/ou
- 3 Com uma nova **resolução**;

de acordo com algum **critério de reamostragem** previamente estabelecido.

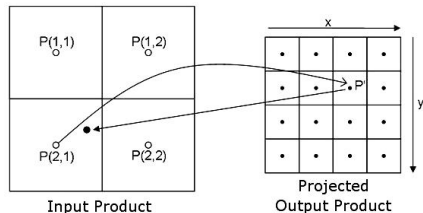
A técnica de reamostragem consiste em:

- 1 Definir uma **nova grelha regular, sem valores**, com um determinado sistema de coordenadas, uma determinada extensão e uma determinada resolução;
- 2 Usar a imagem a reamostrar para atribuir valores aos pixels da nova grelha.

## Reamostragem de cdg matriciais (continuação)

À esquerda está representada a imagem original. À direita está representado *output* da reamostragem: a nova grelha, com o sistema de coordenadas, a extensão e a resolução escolhidos arbitrariamente.

Considere-se que se conhece uma **transformação de coordenadas** (ver Slide 192) que associa cada ponto  $P'$  do *output* à localização respectiva ( $\bullet$ ) na imagem a reamostrar.

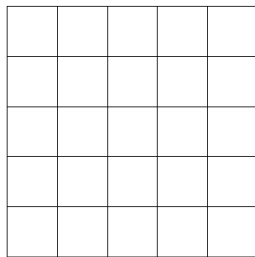
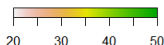
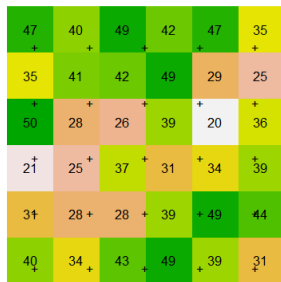


O valor a atribuir ao pixel  $P'$  depende do critério de reamostragem.

- Pelo **critério do vizinho mais próximo**, o valor do pixel  $P(2, 1)$  é atribuído à célula de  $P'$  na imagem transformada dado que o ponto ( $\bullet$ ) está na célula  $P(2, 1)$ ;
- Pelo **critério de interpolação**, o valor atribuído a  $P'$  é uma média ponderada de  $P(1, 1)$ ,  $P(1, 2)$ ,  $P(2, 1)$  e  $P(2, 2)$ . Os coeficientes de ponderação dependem das distâncias entre cada ponto  $P(1, 1)$ ,  $P(1, 2)$ ,  $P(2, 1)$  e  $P(2, 2)$  e o ponto ( $\bullet$ ).

## Reamostragem de cdg matriciais: exercício

Pretende-se fazer a reamostragem do cdg matricial à esquerda A, para um cdg B à direita com resolução mais grosseira. Os centros dos pixels do cdg B estão indicados por “+” no cdg A.



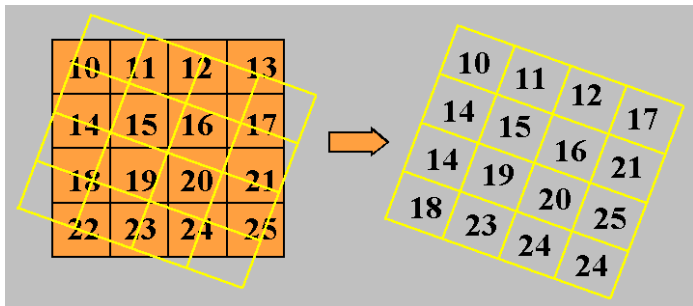
- 1 Determine o cdg B se usar o **critério do vizinho mais próximo**;
- 2 Qual será aproximadamente o valor do pixel no topo da 3a coluna se usar em alternativa um **critério de interpolação** com coeficientes inversamente proporcionais às distâncias?



## Reamostragem de cdg matriciais: exercício

Na figura abaixo, a imagem a laranja é a imagem original e a imagem cinzenta é o resultado da sua reamostragem sobre a grelha inclinada.

- 1 Qual é o critério de reamostragem usado neste exemplo?
- 2 Dê uma justificação para os valores 14 e 24 ocorrerem repetidos na imagem que resulta da reamostragem;
- 3 O que ocorre se se tentar “melhorar” a resolução de uma imagem de 100 m para 10 m fazendo uma reamostragem pelo critério do vizinho mais próximo?



## Operações sobre cdg matriciais (sobreposição matricial)

O tipo de operações realizadas sobre cdg matriciais tem uma natureza distinta das operações para cdg vectoriais (ver Slide 90).

*No resto desta secção, irá ser considerado que todos os cdg matriciais têm o mesmo sistema de coordenadas, a mesma extensão e a mesma resolução. Caso contrário, pode usar-se uma **reamostragem** para garantir essa condição.*

É habitual classificar as operações sobre cdg matriciais em função dos pixels usados para determinar o resultado da operação no pixel  $(i, j)$ :

- 1 **operações locais**, só usam os pixels na posição  $(i, j)$ ; Exemplo: operações aritméticas ou lógicas sobre uma ou mais imagens;
- 2 **operações focais**, usam valores dos pixels numa vizinhança do pixel  $(i, j)$ ; Exemplo: filtros locais, também conhecidos como janelas móveis sobre a imagem;
- 3 **operações globais** usam em geral todos os pixels da imagem para determinar resultado da operação na posição  $(i, j)$ ; Exemplo: mínimo da imagem, segmentação de imagem, determinação do caminho de custo mínimo, mapa de visibilidade sobre um MDE.

## Operações locais para cdg matriciais: operações aritméticas e lógicas

Considere cdg matriciais com idênticos CRS, extensão e resolução e operações que devolvem um cdg matricial com igual CRS, extensão e resolução.

- 1 **Comparações**, e.g. `elevacao > 100`, e **expressões Booleanas** como

`(declive >= 5 AND declive <= 20) OR elevacao > 1000`  
devolvem um novo cdg matricial com os mesmos CRS, extensão e resolução, em que pixel tem valor 0 se a expressão acima tem valor lógico **F**, ou valor 1 se a expressão tem valor lógico **V**.

- 2 **Expressões aritméticas**. Por exemplo,

`1 - exp(-(pp - ET)^2)`

devolve um novo cdg matricial com os mesmos CRS, extensão e resolução que os cdg `pp` e `ET`, com valores entre 0 e 1.

Quando o valor do pixel para algum dos cdg de *input* não está definido (é `null`), então o valor do pixel no *output* também é `null`.

## Operações locais para cdg matriciais: reclassificação

A reclassificação é uma operação que tem um único cdg de *input*, e que tem como parâmetro uma tabela de reclassificação.

**Exemplo:** Considere o cdg matricial `declive` com valores entre 0 e 200 (em %), e a função de reclassificação definida pela tabela

| declive    | novoValor |
|------------|-----------|
| 0          | 10        |
| ]0,100[    | 20        |
| [100, 150[ | 30        |
| $\geq 150$ | 40        |

Note-se que **uma reclassificação pode ser sempre definida por uma expressão aritmética**. Neste exemplo, a expressão é:

```
10 * (declive=0) +  
20 * (declive>0 AND declive<100) +  
30 * (declive>=100 AND declive<150) +  
40 * (declive>=150)
```

em que o valor lógico **V** vale 1 e o valor lógico **F** vale 0.

## Operações locais para cdg matriciais: exercício

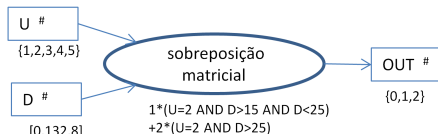
**Exercício** (adaptado do exercício I.2 do exame de 19 de junho de 2014).

Dispõe-se de dois cdg matriciais U e D de uma dada área de estudo. Ambos os cdg utilizam o mesmo CRS e têm resolução espacial de 90m. O cdg U representa o uso do solo em 2012, segundo a classificação do COS2007; as suas células só podem conter valores inteiros com a seguinte codificação: Territórios artificializados [1]; Áreas agrícolas [2]; Florestas e meios naturais [3]; Zonas húmidas [4]; Corpos de água [5]. O cdg D representa os declives do terreno, em percentagem; as suas células contêm valores numéricos com casas decimais. Os declives do terreno variam entre 0% e 132.8%.

Pretende-se obter um cdg matricial em que cada célula tenha valor 1 nos locais classificados como “Áreas agrícola” onde o declive do terreno é superior a 15% e inferior a 25% e tenha o valor 2 nos locais classificados como “Áreas agrícolas” onde o declive do terreno é superior a 25%. Nas células restantes o valor deve ser 0.

## Operações locais para cdg matriciais: exercício (continuação)

- 1 Apresente um diagrama de operações, contendo unicamente operações de sobreposição matricial e de reclassificação, para obter o cdg pretendido. O diagrama deve representar as operações, os seus parâmetros, os domínios de valores, o nome e o tipo de cada cdg.



### Uma solução:

- 2 Escreva o resultado final correspondente às células de U e D representadas abaixo e determine nesse extrato a área (indicando as unidades) de “Áreas agrícolas” onde o declive é superior a 15% e inferior a 25%.

U: Uso do solo

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 3 | 2 | 3 |
| 1 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 2 | 2 | 3 |

D: Declive do terreno

|      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 11.3 | 16.6 | 14.2 | 12   |
| 10.2 | 19.4 | 17.6 | 18.7 |
| 9.4  | 13.7 | 19.2 | 22.4 |
| 8.3  | 19.8 | 27.3 | 44.6 |

OUT

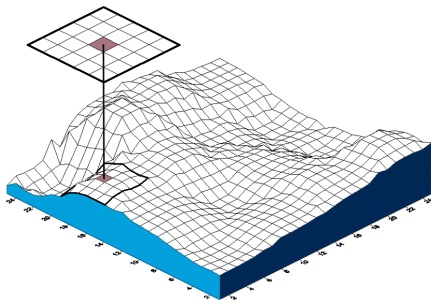
|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 2 | 0 |

A área pedida corresponde a 4 pixels, i.e.  $4 \times (90\text{m})^2 = 32400\text{m}^2$ .

## Operações focais sobre cdg matriciais: filtros

Um filtro, também designado por janela móvel, é uma operação que atribui a cada pixel  $(i, j)$  do cdg de *output* o valor de uma função dos valores dos pixels do cdg de *input* numa vizinhança de  $(i, j)$ .

Essa vizinhança é designada por **janela móvel** e é tipicamente um arranjo de  $3 \times 3$ , ou  $5 \times 5$  pixels centrado em  $(i, j)$ , mas pode em geral ser uma vizinhança com qualquer forma e dimensão.

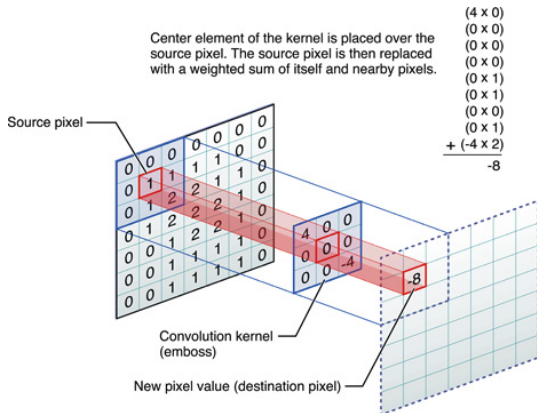


## Operações focais sobre cdg matriciais: filtros

É habitual distinguir dois tipos de filtros:

- 1 **filtros não lineares**, quando a função  $f$  a aplicar aos valores da janela móvel é uma função não linear; Exemplo: filtro de moda, de mediana ou de máximo;
- 2 **filtros lineares**, quando  $f$  é linear (ver Slide 161). Os filtros lineares são muito eficientes computacionalmente.

Os filtros lineares podem ser definidos pelo seu **kernel**, uma matriz de pesos que identifica a janela móvel e o filtro. Um filtro linear devolve na posição  $(i, j)$  a soma ponderada dos valores no **kernel** como no exemplo junto.





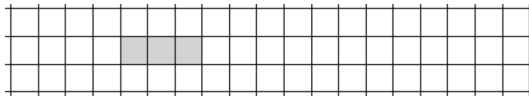
## Operações focais sobre cdg matriciais: filtros não lineares

O **filtro de mediana** substitui os valores em cada janela móvel  $n \times n$  pelo valor mediano. É tipicamente usado para remover ruído do tipo “sal e pimenta” sobre imagens.

Exercício: a imagem seguinte representa os valores numa secção de uma imagem 0.6-0.7  $\mu\text{m}$  (resolução espacial de 30 m) sobre uma região agrícola no Alentejo:

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 45 | 43 | 40 | 37 | 28 | 31 | 39 | 45 | 38 | 35 | 40 | 36 | 32 | 43 | 45 | 45 | 40 | 34 |
| 48 | 46 | 47 | 40 | 31 | 25 | 31 | 42 | 38 | 37 | 37 | 37 | 31 | 34 | 39 | 39 | 39 | 36 |
| 43 | 40 | 39 | 40 | 36 | 30 | 32 | 34 | 35 | 36 | 35 | 34 | 32 | 32 | 38 | 37 | 39 | 38 |

Aplique filtro de mediana  $3 \times 3$  e mostre que os valores nas três células assinaladas são, respectivamente, 31, 31 e 32.



## Operações focais sobre cdg matriciais: filtros não lineares

No exemplo abaixo, uma imagem de satélite com ruído causado por efeito da atmosfera é processado com um filtro de mediana  $3 \times 3$ :



## Integração vectorial/matricial e interpolação espacial

## Reestruturação de informação geográfica

Como discutido anteriormente, existem principalmente dois modelos conceptuais de dados: vectorial e matricial. Cada modelo tem vantagens e desvantagens relativamente à representação e ao processamento de informação. Assim, existem vários motivos para se querer reestruturar a informação de um dos modelos para o outro.

- 1 **Combinar várias fontes de informação**; por exemplo, pode ser útil converter um cdg vectorial de ocupação do solo – cruzado com a informação da temperatura máxima aconselhada por ocupação – num cdg matricial, para depois combinar esse novo cdg com um cdg matricial de temperatura do solo obtido por detecção remota.
- 2 Reestruturar a informação de um modelo A para um modelo B por forma a poder **aplicar uma operação** que só pode ser aplicada a B. Por exemplo, converter um cdg matricial num cdg vectorial para depois poder realizar um cruzamento de tabelas.

## Reestruturar um cdg vectorial num cdg matricial

*Como simplificação, considere-se que o sistema de coordenadas do cdg matricial é idêntico ao do cdg vectorial, e que o cdg vectorial é do tipo “polígono”.*

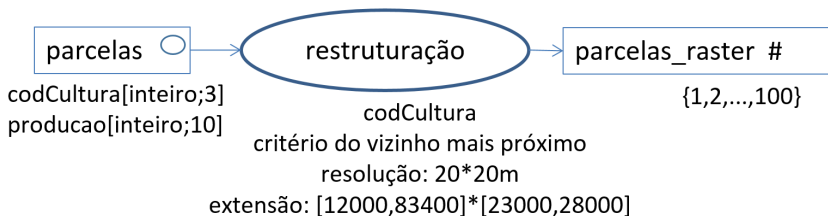
Para reestruturar a informação contida no cdg vectorial são necessários os seguintes parâmetros:

- 1 **atributo** (numérico) do cdg vectorial a ser reestruturado;
- 2 **extensão** do cdg matricial de *output*; convencionou-se que é o menor rectângulo que contém o cdg vectorial caso esta extensão não seja indicada;
- 3 **resolução** do cdg matricial;
- 4 **critério de reamostragem**, que é em geral o critério do *vizinho mais próximo*, em que o valor que toma o pixel com centro  $(x, y)$  é o valor do atributo do cdg vectorial nessa posição. Caso o cdg vectorial não contenha o ponto  $(x, y)$ , o valor do pixel é `null`.

## Reestruturar um cdg vectorial num cdg matricial: ilustração



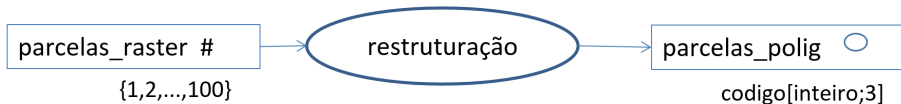
A operação de **reestruturação** pode ser descrita por um diagrama como o seguinte



em que os parâmetros da operação indicam a extensão e a resolução do cdg matricial de *output*.

## Reestruturar um cdg matricial num cdg vectorial

Como o cdg matricial tem um valor por célula, só faz sentido fazer a reestruturação se existirem “manchas” de pixels com valor idêntico. Cada uma dessas manchas é convertida num polígono ao qual é associado o valor respectivo. Para esta operação, só é necessário indicar o atributo que resulta da conversão.

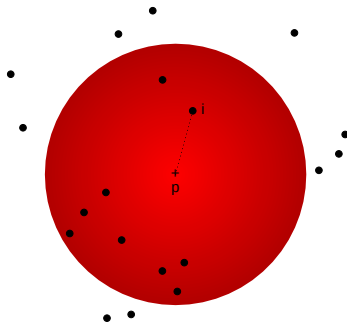


## Interpolação espacial

*I invoke the first law of geography: everything is related to everything else, but near things are more related than distant things (Tobler, 1970)*

A afirmação acima estabelece a **primeira lei da geografia**, que descreve informalmente a ideia de que os fenômenos geográficos têm uma estrutura espacial que depende da distância entre localizações.

Neste exemplo, o ponto mais próximo de  $p$  é  $i$ , e isso é uma indicação de que  $p$  poderá estar mais relacionado com  $i$  do que com outros pontos.





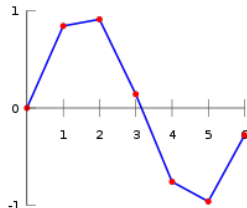
# Interpolação espacial de medições pontuais

## (Interpolação espacial)

*É a interpolação de medições em localizações pontuais para todo o espaço considerado. Mais precisamente, dados valores  $\{z_1, \dots, z_n\}$  nas localizações  $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$ , a interpolação espacial é uma função  $z = f(x, y)$  definida sobre o domínio das coordenadas  $\{(x_i, y_i)\}$  que satisfaz algumas condições predefinidas.*

A interpolação é **linear** quando a função  $f$  é linear por partes e quando  $f(x_i, y_i) = z_i$  para todos os pontos, isto é, quando coincide com os valores medidos nos pontos de medição.

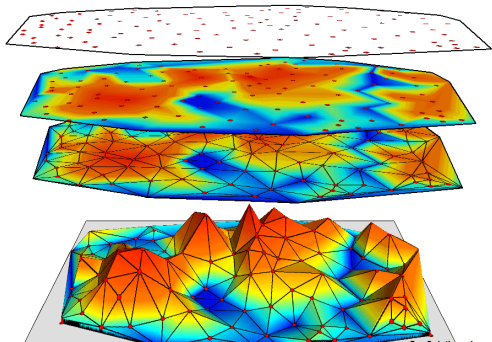
Ilustração de interpolação linear em uma dimensão:



## Interpolação linear sobre uma rede triangular irregular (TIN)

Dado um conjunto de pontos  $\{(x_i, y_i)\}$ , particiona-se o seu invólucro convexo em triângulos de Delaunay. A interpolação é **linear em cada triângulo  $abc$**  com  $f(a) = z_a$ ,  $f(b) = z_b$  e  $f(c) = z_c$ . Esta interpolação adapta-se de forma óptima à densidade de pontos disponíveis.

- 1 cdg vectorial de pontos com valores pontuais da variável  $z$ ;
- 2 representação da magnitude dos valores  $z_i$ ;
- 3 triangulação (de Delaunay);
- 4 interpolação linear dos valores de  $z$  em cada triângulo.



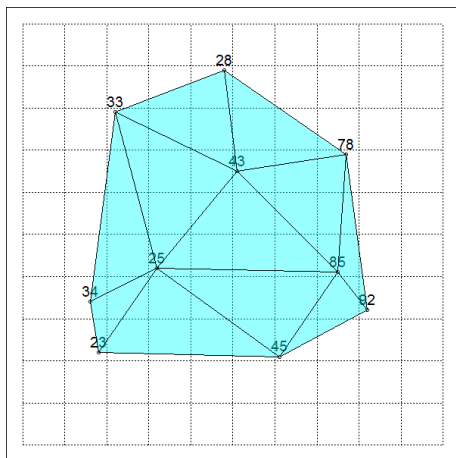
(adaptado de [www.edc.uri.edu](http://www.edc.uri.edu))

A interpolação  $f$  pode adicionalmente ser convertida num cdg **matricial** em que cada pixel de centro  $(x, y)$  toma o valor  $f(x, y)$ .

## Exemplo: interpolação linear e criação de cdg matricial

Ilustração da técnica de interpolação linear sobre uma TIN:

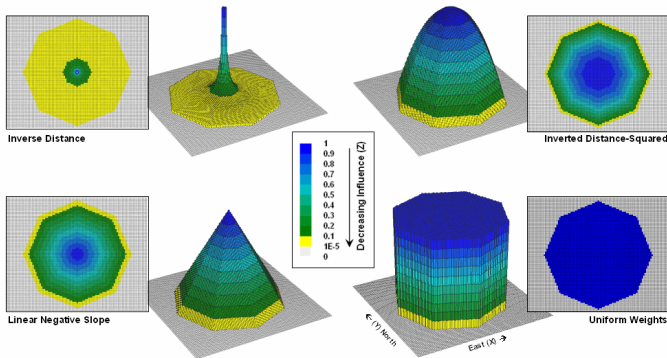
- 1 **input**: Um conjunto de pontos com valores da variável  $z$  e uma grelha fixa;
- 2 **TIN**: Dos pontos de *input* deriva-se uma triangulação de Delaunay;
- 3 **Para cada pixel da grelha**:
  - ▶ determina-se a qual triângulo pertence o centro do pixel;
  - ▶ realiza-se uma interpolação linear no triângulo para obter a estimativa do valor no centro do pixel (ver Slide 159).



## Filtros lineares para interpolação espacial

Como visto no Slide 130, o **kernel** de um filtro linear pode ter **suporte** (células com pesos diferentes de zero) e **pesos** variáveis.

A figura abaixo mostra a forma de alguns exemplos de *kernel* de filtros lineares usados em processamento de imagem para **interpolação espacial**: alguns dão maior peso ao centro do *kernel* e outros têm uma distribuição de pesos mais uniforme.



## Filtros lineares para interpolação espacial: distâncias

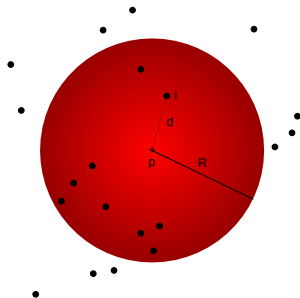
Na figura abaixo, estão indicadas localizações de observações pontuais de uma dada variável  $z$  e o **suporte** do kernel com raio  $R$ , centrado num ponto  $p$  onde se pretende **estimar o valor da variável  $z$** .

Todas as observações que pertencem ao suporte (por exemplo  $i$ ) são usadas para estimar o valor da variável em  $p$ .

Tipicamente, o valor estimado é uma **combinação linear convexa** dos valores pontuais  $z_i$

$$z_p = \sum_{i \in \text{suporte}} z_i \times c_i$$

em que  $\sum_i c_i = 1$  e cada coeficiente  $c_i$  depende da distância  $d$  entre  $p$  e  $i$ .



## Filtros lineares para interpolação espacial: IDW

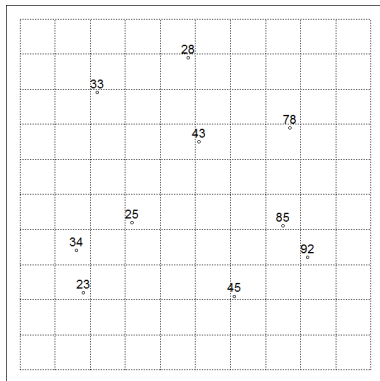
Uma técnica de uso frequente para realizar interpolação espacial é designada por **IDW**: *inverse distance weighting*.

Nesse caso, para cada pixel de centro  $p$ , cada coeficiente  $c_i$  depende do **inverso** da distância  $d_i$  entre  $p$  e a  $i$ -ésima **observação pontual** que pertence ao suporte.

O resultado depende muito da forma como cada coeficiente  $c_i$  depende de  $d_i$ : tipicamente escolhe-se um parâmetro  $\rho$  (o **expoente**) tal que

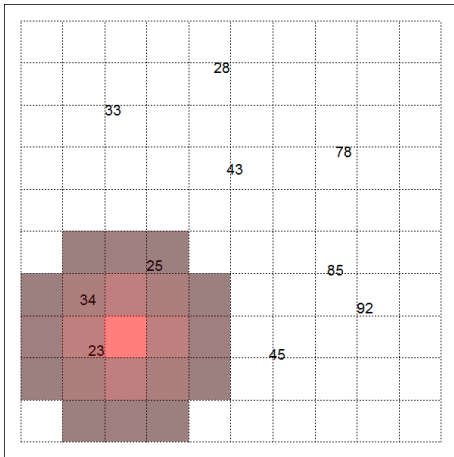
$$c_i \text{ é proporcional a } \left(\frac{1}{d_i}\right)^\rho$$

Este processo é realizado em todas as células da grelha que cobre a região de interesse. Como resultado, obtém-se um **cdg matricial**.

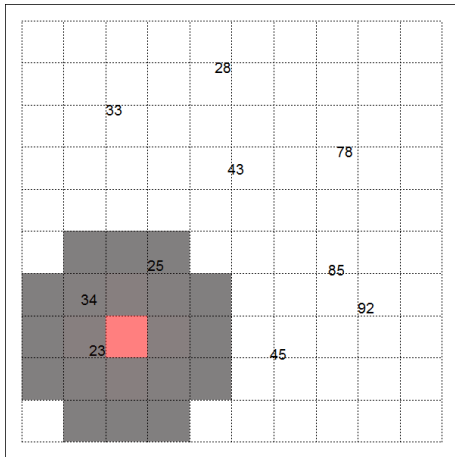


## Exemplo: IDW com kernel de “raio” $\approx 2.5$ pixels

$c_i$  proporcional a  $\frac{1}{d_i}$ : todos os pontos contribuem razoavelmente.



$c_i$  proporcional a  $\left(\frac{1}{d_i}\right)^2$ : os pontos mais próximos contribuem muito.



## Interpolação espacial com IDW: exercício

No exemplo do slide anterior, suponha que a grelha tem uma resolução espacial de 10 m e considere que as distâncias entre o centro  $P$  do píxel mais próximo do ponto com valor 45 (em baixo, na sétima coluna) e os pontos com valores 45, 85 e 92 são respectivamente 5.66 m, 18.87 m e 18.38 m.

Mostre que os valores estimados pela técnica de interpolação IDW são de facto:

- 1 61.46 quando o expoente da distância é 1 (figura à esquerda);
- 2 51.8 quando o expoente da distância é 2 (figura à direita);



## Interpolação espacial: algumas considerações

Existem muitas técnicas de interpolação espacial, que permitem obter estimativas dos valores de uma variável geográfica de interesse em locais em que essa variável não é observada. Exemplos de aplicação: temperatura, precipitação, concentração de poluentes no solo, humidade no solo, ...

É necessário conhecer bem o **comportamento da variável** de interesse para saber se esse tipo de técnicas devem ser aplicadas e para decidir qual a técnica mais adequada.

A **interpolação linear** é uma técnica simples que se adapta bem à amostra de pontos: pode ser adequada se a variável tem um comportamento regular sobre a superfície (por exemplo, elevações numa região em que o relevo não é muito abrupto) mas tem o inconveniente de devolver uma “superfície” não regular (não diferenciável).

A técnica **IDW** depende muito do *kernel* escolhido e, em particular, da forma como os coeficientes dependem das distâncias (expoente igual a 1, 2, ...).

## Interpolação espacial: um exemplo de aplicação

Dados climáticos ou ecológicos em formato *raster* e usados em análises espaciais podem em particular corresponder a:

- 1 dados genuinamente *raster*, como imagens de satélite;
- 2 o resultado de uma **interpolação espacial** de observações pontuais sobre a superfície.

Alguns exemplos de fontes de dados *raster* em estudos globais:

- **Superfície** – e.g. Atlas of the Biosphere, South And Central America Environmental Data, MODIS-Derived Satellite Data;
- **Clima** – e.g. IPCC Data Distribution Centre, Climatic Research Unit of the University Of East Anglia, WorldClim Global Climate Data; variáveis essenciais ESA/CCI;
- **Elevação, batimetria** – e.g. SRTM 30m e 90m Digital Elevation Data e outras fontes em Earth Explorer;
- **Oceanos** – e.g. Permanent Service For Mean Sea Level, World Oceans Atlas.

## Interpolação espacial: um exemplo – WorldClim

WorldClim é um conjunto de dados matriciais derivados de medições pontuais de **temperatura** e de **precipitação** ao longo do tempo em estações meteorológicas.

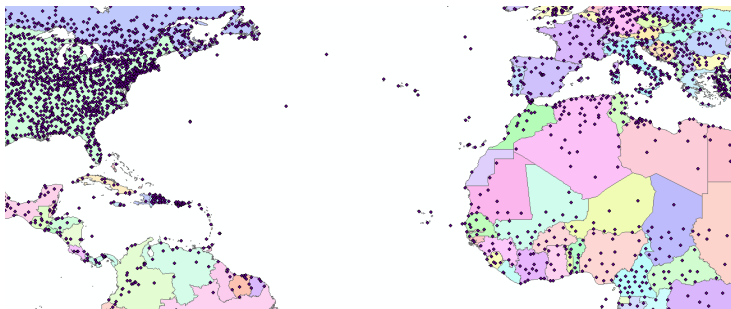
Os dados em formato matricial têm uma resolução de  $\approx 1\text{km}$  (mais precisamente, 30 arc segundos), e são muito utilizados para modelação ecológica e monitorização de alterações climáticas. Os dados pontuais originais provém de:

- **Global Historical Climate Network Dataset (GHCN)**: mais de 20000 estações meteorológicas para precipitação e mais de 7000 para temperatura;
- **World Meteorological Organization climatological normals**: mais de 4000 e 3000 estações;
- **FAOCLIM**: mais de 27000 e 20000 estações;
- Outros registos regionais.

No conjunto, e excluindo repetições, Worldclim usa mais do que 47000 localizações para precipitação, 25000 para temperatura média e 14000 para temperaturas mínimas e máximas mensais.

## Interpolação espacial: um exemplo – WorldClim

- 1 Apesar de haver um número elevado de medições pontuais, a sua distribuição espacial é muito irregular:



**Figura:** Estações do Global Historical Climate Network Dataset.

- 2 Worldclim é um conjunto de dados matriciais **derivado de dados pontuais** para as áreas terrestres. Na maior parte das localizações, fornece apenas **estimativas** – obtidas por **interpolação espacial** – das variáveis climáticas.

## Aplicações a modelos digitais de elevações (raster)

## Dados de elevação

A elevação é a variável essencial para a representação do relevo, a partir da qual podem ser derivadas novas variáveis para caracterização da forma da superfície.

Os dados de elevação podem ser obtidos por várias formas:

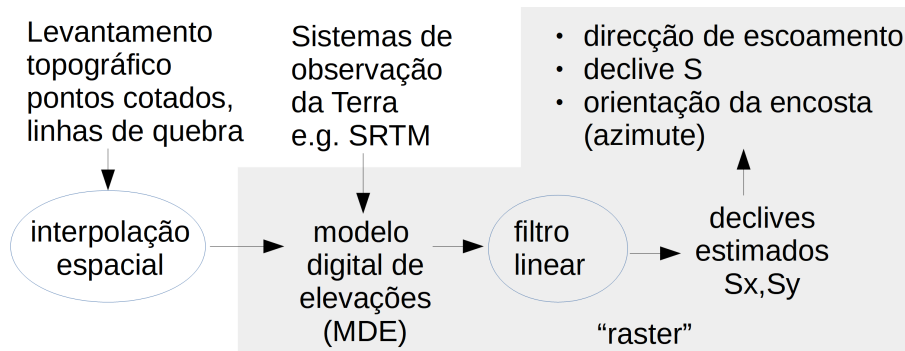
- 1 Levantamento topográfico;
- 2 Levantamento com técnicas de posicionamento global (e.g. GPS)
- 3 Estereofotogrametria de fotografia aérea ou imagens de satélite;
- 4 Detecção remota “activa” com LIDAR (ver Slide 277) e RADAR (ver Slide 274).

A **representação do relevo** pode ser feita através de

- 1 pontos cotados,
- 2 curvas de nível,
- 3 redes triangulares irregulares (TIN),
- 4 **modelos digitais de elevação** (MDE, formato raster, usado nesta neste capítulo).

## Algumas técnicas usadas para obter e explorar modelos digitais de elevação em formato raster

Nas secções anteriores foram analisadas as técnicas de **interpolação espacial** e **filtros lineares** que podem ser aplicadas neste contexto.

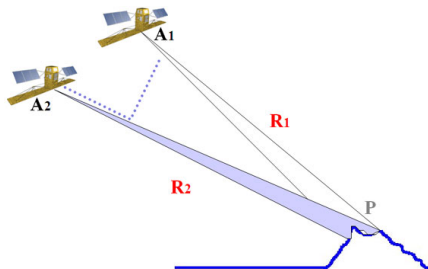
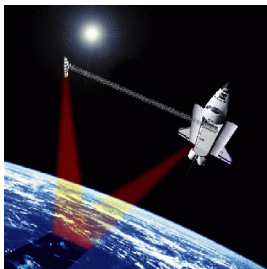


Filtros lineares permitem derivar de forma expedita nova informação a partir de um modelo digital de elevações (MDE).

## Modelos digitais de elevação globais

Existem vários modelos digitais de elevação globais de livre acesso. O modelo mais usado é conhecido por SRTM, obtido em fevereiro de 2000 pela missão “Shuttle Radar Topography Mission”.

O MDE SRTM cobre a maior parte do globo (entre  $60^{\circ}\text{S}$  e  $60^{\circ}\text{N}$ ), está disponível com resolução 3 arco-segundos e, desde 2015, 1 arco-segundo. Sobre a Eurásia, 90% dos pixels têm erro posicional inferior a 8.8m e erro de elevação inferior a 6.2m.



**Figura:** Ilustração da aplicação da técnica de interferometria por radar de abertura sintética (InSAR) utilizada na missão SRTM.



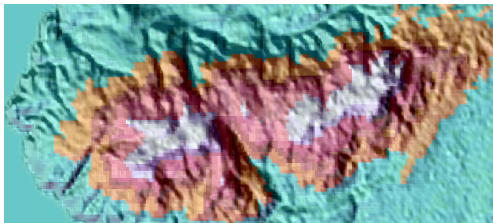
## Algumas técnicas para análise do relevo

Algumas das técnicas discutidas em secções anteriores podem ser usadas para analisar o relevo. Nomeadamente:

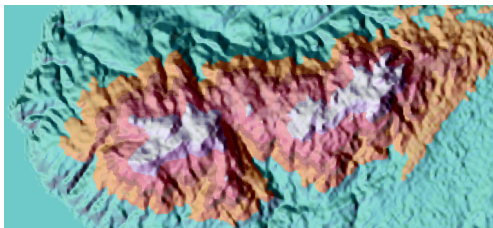
- 1 Reamostragem de MDE (ver Slide 120);
- 2 Interpolação espacial de valores pontuais de elevação (Slide 140, com eventual incorporação de linhas de quebra (linhas de água, linhas de fecho));
- 3 Interpolação espacial do tipo “Inverse distance weighting” (ver Slide 142);
- 4 Derivação de novas variáveis para caracterização do relevo com filtros lineares (ver Slide 130). Por exemplo, filtros lineares permitem derivar o declive em cada direcção ( $S_x$  e  $S_y$ ). A partir de  $S_x$ ,  $S_y$  estima-se a direcção de maior declive e a sua magnitude.

## Reamostragem de modelos digitais de elevação

A técnica de reamostragem (Slide 120) converte um *raster* para um novo *raster* com novo CRS, resolução e extensão. Quando o relevo é razoavelmente regular, a reamostragem do relevo para uma resolução mais detalhada pode ser justificada.



Representação do SRTM original sobre a Serra de Sintra (resolução de aproximadamente 90 m).



MDE resultante de uma re-amostragem para 30 m para compatibilidade com imagem Landsat. Neste caso a reamostragem não cria replicações de valores nos pixels pois foi aplicada um critério de interpolação (Lanczos).

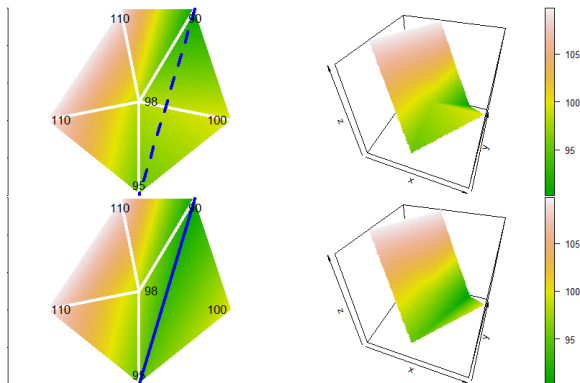
## Interpolação linear com linhas de rotura

Linhas de rotura são linhas que não podem ser cruzadas por arestas da triangulação. Um exemplo típico são linhas de água ou linhas de fecho numa interpolação linear de valores pontuais de elevação (ver Slide 140).

No exemplo abaixo, a linha a **azul** representa uma linha de água.

**No topo.** Triangulação sem linhas de rotura: representação errada do relevo;

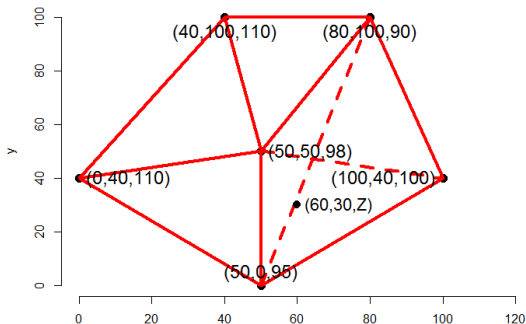
**Em baixo.** A linha de água é usada como linha de rotura alterando a triangulação: o modelo de elevação é mais rigoroso.



## Interpolação linear: exercício

**Exercício:** Considere a figura abaixo que indica 6 pontos com as suas coordenadas  $(x_i, y_i, z_i)$ . Escreva o sistema de equações que permite determinar a coordenada  $z$  do ponto com coordenadas  $P = (60, 30)$  nas duas situações seguintes, em que se supõe que

- 1 P pertence ao triângulo de vértices  $(50,0)$ ,  $(50,50)$  e  $(100,40)$ ;
- 2 A linha a tracejado entre  $(50,0)$  e  $(80,100)$  é uma linha de rotura e, portanto, P pertence ao triângulo de vértices  $(50,0)$ ,  $(80,100)$  e  $(100,40)$ .



## Interpolação linear: solução do exercício

- 1 No primeiro caso, o ponto  $P = (60, 30, z)$  pertence ao plano  $z = a + bx + cy$  que passa por  $(50, 50, 98)$ ,  $(100, 40, 100)$  e  $(50, 0, 95)$ . Então o valor de  $z$  é dado pelo sistema seguinte.

$$\begin{cases} 98 = a + b \times 50 + c \times 50 \\ 100 = a + b \times 100 + c \times 40 \\ 95 = a + b \times 50 + c \times 0 \\ z = a + b \times 60 + c \times 30 \end{cases} \quad \text{que determina } z = 97.32\text{m}$$

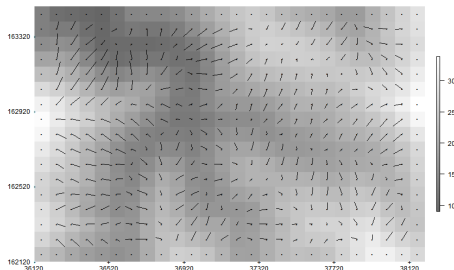
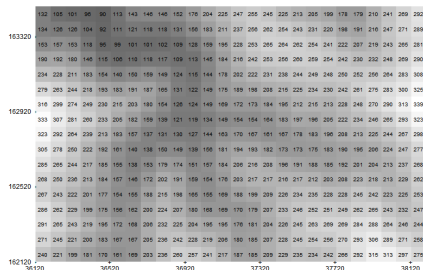
- 2 No segundo caso, o ponto  $P = (60, 30, z)$  pertence ao plano  $z = a + bx + cy$  que passa por  $(80, 100, 90)$ ,  $(100, 40, 100)$  and  $(50, 0, 95)$ . Então o valor de  $z$  é dado pelo sistema seguinte.

$$\begin{cases} 90 = a + b \times 80 + c \times 100 \\ 100 = a + b \times 100 + c \times 40 \\ 95 = a + b \times 50 + c \times 0 \\ z = a + b \times 60 + c \times 30 \end{cases} \quad \text{que determina } z = 93.86\text{m}$$

A solução no segundo caso é consistente com a linha de rotura entre  $(50, 0)$  e  $(80, 100)$ .

# Derivação de variáveis de caracterização do relevo a partir de MDEs

Num MDE, cada pixel tem um valor que é a elevação média do terreno correspondente ao pixel. A partir de um MDE podem ser derivadas novas variáveis muito relevantes para caracterizar o relevo. Uma dessas variáveis é a **direcção do escoamento** que corresponde à direcção de maior declive em cada ponto.



À esquerda um MDE na região do Douro. À direita, a direcção e magnitude do maior declive derivado do MDE.

## Operações focais sobre cdg matriciais e análise do relevo

Os filtros lineares (ver Slide 130) permitem analisar a vizinhança de cada pixel. Um dos exemplos mais comuns da aplicação desses filtros é a análise do relevo a partir do **modelo digital de elevação** em formato matricial.

As expressões abaixo dão estimativas do declive do terreno nas direcções x e y usando uma vizinhança de  $3 \times 3$  pixels:

$$S_x = \frac{(z_3 - z_1) + 2(z_6 - z_4) + (z_9 - z_7)}{4 \times (2 \times \text{resolucao em x})}, \quad S_y = \frac{(z_1 - z_7) + 2(z_2 - z_8) + (z_3 - z_9)}{4 \times (2 \times \text{resolucao em y})}.$$



Neste exemplo, o pixel tem 20m de lado e as estimativas são:

1  $S_x = (1 + 2 \times 3 + 3) / (4 \times 40) = 0.0625, e$

2  $S_y = (39 + 2 \times 35 + 37) / (4 \times 40) = 0.9125.$

## Operações focais sobre cdg matriciais e análise do relevo (continuação)

**Exercício.** Verificar que as estimativas de  $S_x$  e  $S_y$  do Slide 161 são o resultado de aplicação de filtros lineares, em que os *kernel* são os seguintes, e a resolução é de 20 m (i.e. a distância entre a 1a e 3a colunas é 40m, e a distância entre a 1a e a 3a linhas também é 40m).

$$S_x : \begin{bmatrix} -\frac{1}{4 \times 40} & 0 & \frac{1}{4 \times 40} \\ -\frac{2}{4 \times 40} & 0 & \frac{2}{4 \times 40} \\ -\frac{1}{4 \times 40} & 0 & \frac{1}{4 \times 40} \end{bmatrix} \quad S_y : \begin{bmatrix} \frac{1}{4 \times 40} & \frac{2}{4 \times 40} & \frac{1}{4 \times 40} \\ 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{4 \times 40} & -\frac{2}{4 \times 40} & -\frac{1}{4 \times 40} \end{bmatrix}$$

Observação 1: a aplicação destes filtros para estimar os declives pressupõe que  $x$ ,  $y$  e  $z$  têm as mesmas unidades (metros neste caso);

Observação 2: dado que  $S_x$  e  $S_y$  são definidos por filtros lineares, o cálculo das estimativas dos declives é feito de forma muito expedita em SIGs, mesmo para MDE de elevada dimensão.



## Operações focais sobre cdg matriciais e análise do relevo (cont.)

A partir das estimativas dos declives na direcção de  $x$  e de  $y$  pode derivar-se várias variáveis que caracterizam o relevo.

1 A **direcção de escoamento**, i.e. a direcção de maior declive é a direcção do vector  $(-S_x, -S_y)$ ;

2 O **declive** é o declive segundo a direcção de escoamento

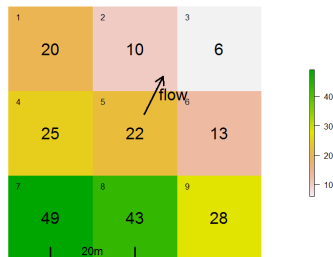
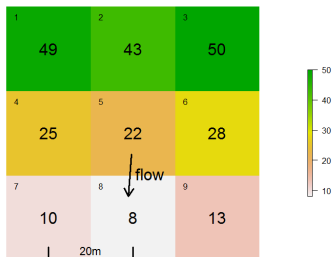
$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2};$$

3 A **orientação da encosta** é a direcção de escoamento expressa como **azimute** (relativamente a Norte, em graus) ou como uma direcção cardinal (N,E,S,W) ou intercardinal (NE, SE, SW, NW). O azimute é  $\arctan(S_x/S_y)$  **mais  $0^\circ$  (se  $(-S_x, -S_y)$  está no 1º quadrante),  $180^\circ$  (no 2º ou 3º quad.), ou  $360^\circ$  (no 4º quad.)**. Se  $S_x = S_y = 0$  a orientação é indefinida (terreno horizontal).

| azimute        | direcção | azimute        | direcção |
|----------------|----------|----------------|----------|
| 337.5°– 22.5°  | N        | 22.5°– 67.5°   | NE       |
| 67.5°– 112.5°  | E        | 112.5°– 157.5° | SE       |
| 157.5°– 202.5° | S        | 202.5°– 247.5° | SW       |
| 247.5°– 292.5° | W        | 292.5°– 337.5° | NW       |

## Operações focais sobre cdg matriciais e análise do relevo (cont.)

Nas figuras abaixo, o vector *flow* indica a direcção de escoamento.



Neste exemplo (do Slide 161),

- ❶  $S_x=0.0625$ ,  $S_y=0.9125$ ,
- ❷  $S=\sqrt{0.0625^2+0.9125^2}=0.9146379$ ,
- ❸ Como  $\arctan(S_x/S_y)=3.918^\circ$ , a orientação é  $183.918^\circ$ , i.e. S.

Neste exemplo,

- ❶  $S_x=-0.36875$ ,  $S_y=-0.73125$ ,
- ❷  $S=\sqrt{0.36875^2+0.73125^2}=0.8189647$ ,
- ❸ Como  $\arctan(S_x/S_y)=26.76^\circ$ , a orientação é  $26.76^\circ$ , i.e. NE.

## Operações focais sobre cdg matriciais e análise do relevo

**Exercício** (adaptado do exercício II.2 do exame de 19 de junho de 2014):

A figura representa um extrato de um modelo digital de elevações em formato raster, com resolução de  $18\text{ m} \times 18\text{ m}$ . Os valores das células são as altitudes em metros.

- 1 Estime a direcção de escoamento para a célula  $(L,k)$ ;
- 2 Estime o declive para a célula  $(L,k)$ ;
- 3 Qual é a orientação (octante) para a célula  $(L,k)$ ?

|     | k-1  | k    | k+1  |
|-----|------|------|------|
| L-1 | 80.7 | 84   | 87   |
| L   | 82.5 | 87.2 | 91.8 |
| L+1 | 77.5 | 82.3 | 86.6 |

## Resolução do exercício do slide anterior

- ① Pede-se o vector  $(-S_x, -S_y)$  em que  $S_x$  e  $S_y$  são as estimativas dos declives na direcção do  $x$  (Oeste-Este) e do  $y$  (Sul-Norte).

A diferença de elevação é estimada pela média ponderada das diferenças em cada direcção sobre a distância horizontal no terreno que é de 36m ( $=2 \times 18$ m):

- ▶ Considerando a diferença entre a coluna  $k+1$  e a coluna  $k-1$ :

$$S_x = (6.3 + 2 \times 9.3 + 9.1)/(4 \times 36) = 0.236, \text{ e}$$

- ▶ Considerando a diferença entre a linha  $L-1$  e a linha  $L+1$ :

$$S_y = (3.2 + 2 \times 1.7 + 0.4)/(4 \times 36) = 0.0486.$$

A direcção de escoamento é então a direcção  $(-0.236, -0.0486)$ ;

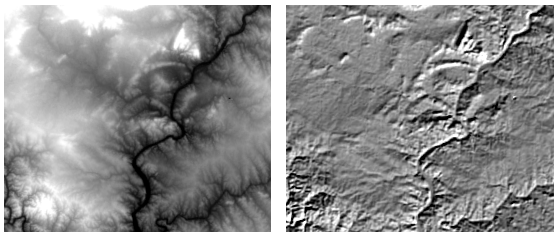
- ② O declive é  $S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} = \sqrt{0.236^2 + 0.0486^2} = 0.241$ , i.e., a altitude decresce em média 24.1m por 100m de distância horizontal no terreno, na direcção de escoamento;

- ③ Como a direcção de escoamento está no 3º quadrante, o azimuth deve estar entre  $180^\circ$  e  $270^\circ$ . Como  $\arctan(S_x/S_y) = 78.36^\circ$  então o azimuth é  $78.36+180^\circ = 258.36^\circ$ . O orientação da encosta é portanto W (oeste) como sugerido pela figura.

## Operações focais sobre cdg matriciais: análise do relevo (cont.)

Uma outra característica do relevo que pode ser derivada a partir do MDE é a quantidade de **iluminação** que cada pixel recebe.

A iluminação depende do **declive** e da **orientação de encosta** para cada pixel, e da posição do sol. Em SIGs, a função que devolve a iluminação da superfície como definido acima designa-se tipicamente por *hillshade*.



**Figura:** À esquerda o MDE numa certa região. À direita o valor do coseno do ângulo de incidência quando o sol tem uma elevação de  $26.6^\circ$  e um azimuth de  $129^\circ$ : uma cor mais clara indica que o sol incide normalmente sobre a superfície.

## Sistemas de coordenadas de referência

## Sistemas de coordenadas de referência

Todos os conjuntos de dados geográficos devem estar associados a um **sistema de coordenadas de referência** (CRS) por forma a:

- 1 Conhecer a **localização** sobre a superfície terrestre dos fenómenos espaciais representados pelo cdg;
- 2 Poder **combinar informação geográfica com diferentes sistemas de coordenadas**. Dados dois cdg com CRS distintos, é necessário poder representá-los no mesmo CRS, com o menor erro posicional possível.

Por exemplo, dados dois cdg matriciais

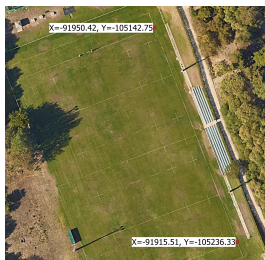
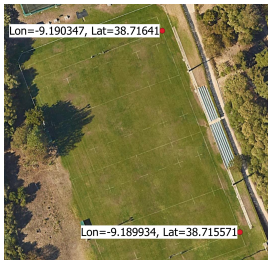
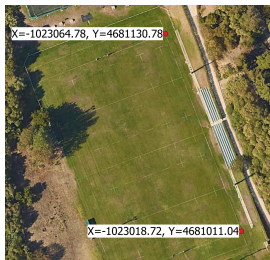
- ▶ cdg A com sistema de coordenadas de referência  $CRS_A$ , e
- ▶ cdg B com sistema de coordenadas de referência  $CRS_B$ ,

a técnica de **reamostragem** discutida no Slide 120 permite converter um ou ambos cdg para um novo sistema de coordenadas comum (que pode ser  $CRS_A$ ,  $CRS_B$  ou outro CRS arbitrário).

## Exemplo: campo de rugby do ISA

A mesma localização sobre o globo pode ser identificada através de coordenadas distintas.

No exemplo abaixo, os mesmos 2 pontos (campo de rugby do ISA) são representados em 3 sistemas de coordenadas de referência distintos.



EPSG:3857 (Google) EPSG:4326 (WGS84) EPSG:3763 (TM-PT06)

*Qual é a distância correcta entre os dois pontos?*

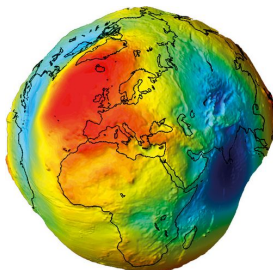


## A forma da Terra: geoide

### (Geoide)

*É a superfície equipotencial do campo gravítico terrestre que se ajusta melhor ao nível médio das águas do mar.*

O geoide é uma superfície irregular devido à heterogeneidade da constituição do globo terrestre.



**Figura:** Representação (muito exagerada) das variações do geoide: o ponto mais elevado situa-se sobre o Oceano Atlântico e o ponto mais baixo sobre o Oceano Índico.

## O sistema de referência WGS84

O sistema de referência *World Geodetic System* (WGS84) designa um *datum* e um elipsoide de referência para a Terra usado pelo Departamento de Defesa dos EUA e referência para as coordenadas GPS (*Global Positioning System*).

O sistema WGS84 é um *datum goblal* pois é ajustado à totalidade da superfície terrestre:

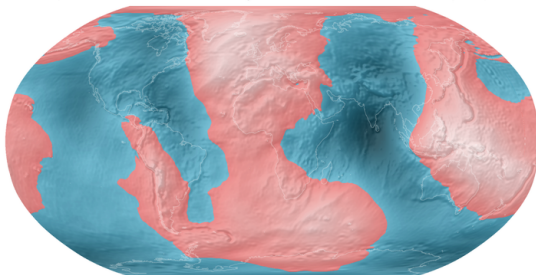
- 1 O centro do elipsoide é colocado no centro de gravidade da Terra;
- 2 O eixo dos **Z** passa pelo polo de referência do *International Earth Rotation and Reference Systems Service* (IERS); O eixo dos **X** passa pela intersecção do meridiano de referência do IERS com o plano que passa pela origem e é normal ao eixo dos Z; o eixo do **Y** completa o referencial ortogonal;
- 3 A sua superfície é um esferoide com raios  $a = 6378137\text{m}$  (equatorial) e  $b = 6356752.31\text{m}$  (polar).

## Aproximação do geoide pelo datum WGS84

O datum WGS84 dá uma muito boa aproximação para o modelo do geoide pois a diferença máxima entre ambas as superfícies é inferior a 107m.

### Deviation of the Geoid from the idealized figure of the Earth

(difference between the EGM96 geoid and the WGS84 reference ellipsoid)



Red areas are above the idealized ellipsoid; blue areas are below.



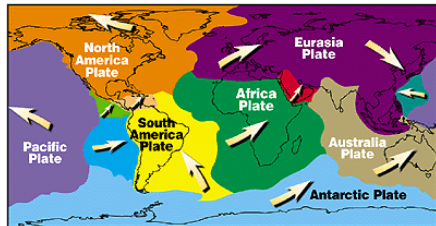
A linha de separação entre vermelho e azul é a linha em que o modelo do geoide intersecta o datum WGS84.

## Outros *datums* globais

O *datum* WGS84 não está ligado a nenhuma placa tectónica. Por isso, ao longo do tempo, localizações sobre a superfície sofrem mudanças de coordenadas WGS84. Para minimizar essas alterações, muitos estados adoptam um *datum* global ligado a sua placa tectónica.

- A UE adoptou o *datum* ETRS89 (baseado no elipsoide GRS80), ligado à Placa Eurasiática;
- Os EUA e Canadá adoptaram o *datum* NAD83 (também baseado no elipsoide GRS80), ligado à Placa Norte-Americana.

A Placa Eurasiática tem um movimento de 1 a 2 cm por ano relativamente ao *datum* WGS84.



# Sistema de coordenadas de referência

O **sistema de coordenadas de referência** (CRS) contém dois elementos: o *datum* e o sistema de coordenadas:

- 1 O **datum** determina como o sistema de coordenadas está ligado à superfície terrestre (origem, escala e orientação dos eixos coordenados);
- 2 O **sistema de coordenadas** é estabelecido por regras matemáticas que associam a cada localização um vector de coordenadas.

As coordenadas podem ser:

- 1 **Cartesianas 3D**, i.e. segundo os três eixos ortogonais do elipsoide: ver Slide 172);
- 2 **Geográficas**, i.e. longitude, latitude e altitude normal ao elipsoide;
- 3 **Rectangulares**: coordenadas  $x, y$  resultantes de uma projecção cartográfica, e altitude normal ao elipsoide.

## Coordenadas geográficas: longitude, latitude

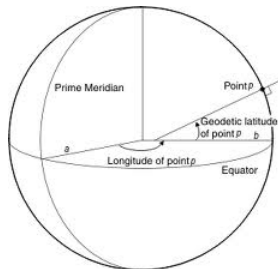
O sistema de coordenadas geográficas tem coordenadas longitude e latitude. Adicionalmente, por ser registada a altitude (ver Slide 184).

**Latitude** Ângulo  $\phi$  (positivo ou negativo) entre o plano equatorial e a linha que passa pelo ponto e que é normal à superfície do elipsoide;

**Longitude** Ângulo  $\lambda$  (positivo ou negativo) entre o meridiano de referência e o meridiano que contém o ponto.

**Altitude** distância positiva ou negativa à superfície de referência.

- A latitude varia entre  $-90^\circ$  (S) e  $90^\circ$  (N);
- A longitude varia entre  $-180^\circ$  (W) e  $180^\circ$  (E).



## Coordenadas geográficas: notação para longitude e latitude

Longitude e latitude são **ângulos**, que podem ser expressos como:

- Graus, minutos e segundos decimais (e.g. lat=38° 50' 7.296"), a notação GMS. O círculo completo tem 360°, cada grau tem 60 minutos, e cada minuto tem 60 segundos;
- Graus decimais (e.g. lat=38.83536°);
- Radianos: o círculo tem  $2\pi$  radianos. Por isso,  
$$1\text{rad} = \frac{360}{2\pi} = \frac{180}{\pi} \approx 57.29577^\circ$$

Conversões:

- GMS para graus decimais:  $38^\circ 50' 7.296'' = 38 + 50/60 + 7.296/3600 = 38.83536$  graus decimais; em alternativa, GMS podem ser convertidos em segundos, e segundos em graus:  
 $38^\circ 50' 7.296'' = 38 \times 3600 + 50 \times 60 + 7.296 = 139807.296''$  e  
 $139807.296''/3600 = 38.83536^\circ$ .
- Graus decimais para radianos: multiplicar por  $\frac{\pi}{180}$ . Por exemplo,  
 $38.83536^\circ = \frac{\pi}{180} 38.83536 = 0.6778049\text{rad}$ ;
- Radianos em graus decimais: multiplicar por  $\frac{180}{\pi}$ . Por exemplo,  
 $0.8\text{rad} = \frac{180}{\pi} 0.8 = 45.83662^\circ$ .

## Coordenadas geográficas: distâncias em arco-segundos

A resolução de dados matriciais é por vezes indicada em **arco-segundos** (segundos de arco).

Por exemplo, até recentemente, o cdg matricial SRTM (ver Slide 115) era disponibilizado para a generalidade do globo com uma resolução de 3 arco-segundos, i.e. cada pixel SRTM cobre 3 segundos de longitude e 3 segundos de latitude sobre o terreno.

Para converter essa resolução numa distância sobre o terreno **ao longo de um meridiano** pode proceder-se como de seguida:

- 1 Considerar que a superfície terrestre é relativamente bem aproximada por uma esfera com raio de 6371 km;
- 2 Converter 3 arco-segundos em radianos: 3 arco-segundos são  $3/3600 = 0.0008333^\circ = 0.000014544\text{rad}$ ;
- 3 Para um círculo de raio  $r$ , o comprimento do arco de círculo de amplitude  $\theta$  é simplesmente  $\theta \times r$ . Assim, 3 arco-segundos de latitude corresponde a uma distância no terreno de aproximadamente  $6371 \times 0.000014544 = 0.09266244\text{km} \approx 92.6\text{m}$ .



## Coordenadas geográficas e distâncias sobre a esfera: exercício

**Exercício.** Resolver o problema análogo ao do slide anterior, mas calculando aproximadamente a distância sobre o terreno **ao longo de um paralelo**, e para a latitude de Lisboa ( $38^{\circ} 42'49.72''\text{N}$ ).

Sugestão:

- 1 Considerar que a superfície terrestre é relativamente bem aproximada por uma esfera com raio de 6371 km;
- 2 Determinar o raio do paralelo de Lisboa;
- 3 Converter a amplitude de 3 arco-segundos numa distância no terreno para esse paralelo.

**Solução:** aproximadamente 72m.

Observação: A solução do exercício anterior (distância S-N de 92.6m) e deste exercício (distância E-O de 72m) indicam a dimensão aproximada para a área do terreno que corresponde a um pixel SRTM (3 arco-segundos) em Portugal Continental.

## Coordenadas geográficas e distâncias sobre o elipsoide

Como se viu no exemplo anterior, um arco de  $1^\circ$  corresponde:

- 1 uma distância no terreno **ao longo de um meridiano** ( $\Delta_{\text{lat}}^1$ ) que é aproximadamente constante, qualquer que seja o lugar;
- 2 uma distância no terreno **ao longo de um paralelo** ( $\Delta_{\text{long}}^1$ ) que depende da latitude do lugar.

A tabela abaixo dá os valores precisos (para o elipsoide WGS84) das distâncias no terreno correspondendo a um arco de  $1^\circ$  para um conjunto de latitudes:

| latitude ( $\phi$ )           | $0^\circ$ | $15^\circ$ | $30^\circ$ | $45^\circ$ | $60^\circ$ | $75^\circ$ | $90^\circ$ |
|-------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $\Delta_{\text{lat}}^1$ (km)  | 110.574   | 110.649    | 110.852    | 111.132    | 111.412    | 111.618    | 111.694    |
| $\Delta_{\text{long}}^1$ (km) | 111.320   | 107.551    | 96.486     | 78.847     | 55.800     | 28.902     | 0          |

Nota: para a totalidade do globo, o erro máximo cometido por se considerar uma superfície esférica em vez do elipsoide WGS84 é 0.5% da distância real.

## Exercício do campo de rugby do ISA (continuação)

Qual é a distância entre os dois extremos do campo de rugby do ISA (ver Slide 170) calculada a partir dos valores de **longitude** e **latitude** sobre o elipsoide WGS84:

| Pontos | longitude (WGS84) | latitude (WGS84) |
|--------|-------------------|------------------|
| $P_1$  | -9.190347°        | 38.716410°       |
| $P_2$  | -9.189934°        | 38.715571°       |

As distâncias são:

- $\text{dist}(P_1, P_2) = 99.82374 \text{ m}$ , sobre o elipsoide WGS84;
- $\text{dist}(P_1, P_2) = 99.93717 \text{ m}$ , sobre a esfera de raio 6371 km.

A medição mais precisa é **99.82374 m**.

## Coordenadas geográficas: exercício

A grelha *Climate Modeling Grid* (CMG) dos dados MODIS assegura uma cobertura global em coordenadas geográficas (latitude e longitude) com uma resolução de  $0.05^\circ$ .

- 1 Explique por que razão a área na superfície correspondente a uma célula da grelha não é igual para todas as células.
- 2 Mostre que uma cobertura global da superfície do globo contém 25920000 células da grelha.
- 3 Qual é a dimensão aproximada (em  $\text{km}^2$ ) de uma célula da grelha junto ao Equador (considere o modelo esférico para a Terra com raio de 6371 km)?

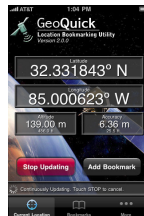
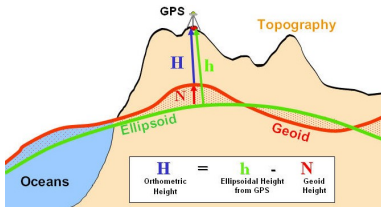
## Coordenadas geográficas: solução do exercício

- 1 Dado que a resolução da grelha CMG é constante e é dada em graus de latitude e longitude, e dado que um grau de longitude corresponde a uma distância no terreno que varia com a latitude do lugar, uma célula da grelha terá uma área que depende da latitude.
- 2 A superfície da Terra é coberta por  $360 \times 180$  células  $1^\circ \times 1^\circ$ . Cada grau corresponde a 20 células da grelha CMG ( $20 \times 0.05^\circ = 1^\circ$ ). Então, em  $1^\circ \times 1^\circ$  existem  $20 \times 20 = 400$  células CMG. No total há  $360 \times 180 \times 400 = 25920000$  células de  $0.05^\circ$  na grelha CMG.
- 3 Junto ao Equador, e usando o modelo esférico, as distâncias no terreno correspondentes a  $0.05^\circ$  de latitude e de longitude são iguais. O ângulo é  $\theta = 0.05 \times \frac{\pi}{180} = 0.00087266462$  rad e por isso a distância no terreno é  $6371 \times 0.00087266462 = 5.559$  km. Portanto, a área de uma célula é aproximadamente  $5.559^2 \text{ km}^2 = 30.9 \text{ km}^2$ .

## Altitude ortométrica e elipsoidal

Existem dois conceitos principais de altitude:

- 1 **Altitude ortométrica** ou relativa ao **nível médio das águas do mar**  
 $H$  é a distância ao geóide, medida ao longo da linha de fio-de-prumo; Esta é a altitude usada em topografia; A altitude dada pelo SRTM (ver Slide 154) é a altitude ortométrica;
- 2 **Altitude elipsoidal**  $h$  é a distância ao elipsoide de referência; É medida pelos sistemas de posicionamento globais (e.g. GPS).  
*A diferença  $N = h - H$  é designada por **ondulação do geóide**.*



**Figura:** Ilustração da conversão de altitude elipsoidal medida por GPS numa altitude ortométrica.

WGS84 é um datum global e um sistema de coordenadas de referência (CRS) de uso muito comum.

- 1 As coordenadas WGS84 são coordenadas geográficas ou cartográficas?
- 2 Indique uma tecnologia de utilização generalizada desde 1995 que é suportada por coordenadas WGS84?
- 3 Quais são as duas formas de medir a elevação que podem ser combinadas com as coordenadas WGS84?
- 4 Na UE, o datum oficial é ETRS89. Qual a distinção mais relevante entre esses dois datums (WGS84 e ETRS89)?

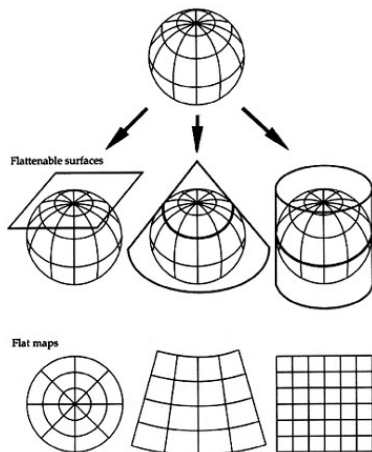
# Projeções cartográficas

## (Projeção cartográfica)

*É uma transformação que faz corresponder, biunivocamente, a cada ponto  $P$  numa superfície de referência um ponto  $P'$  no plano.*

Embora a maioria das projeções usadas não sejam propriamente geométricas, como simplificação pode considerar-se que em geral são adaptações das seguintes projeções geométricas, em que a superfície plana é tangente ou secante à superfície de referência.

- azimutal,
- cónica,
- cilíndrica





## Sistemas de coordenadas de referência da UE

A Europa tem uma grande tradição na área da cartografia. Cada país desenvolveu ao longo dos séculos diversas formas de representar a superfície terrestre e diversos sistemas de projecção. No ano 2000, ainda eram usados 5 tipos diferentes de elipsoides de referência e 8 tipos diferentes de projecções cartográficas nos vários países da UE. Em 2003, após um estudo técnico aprofundado, a UE recomendou:

- 1 a adopção de ETRS89 como *datum* de referência para a UE;
- 2 a utilização de coordenadas geográficas sobre ETRS89 para expressão e arquivar as localizações sobre o território da UE;
- 3 a utilização de 3 projecções cartográficas, suficientes para as necessidades dos programas da UE.

Foi igualmente recomendado que fossem tomadas as disposições necessárias para que os sistemas de coordenadas de referência indicados pudessem coexistir com os sistemas de coordenadas de referência tradicionalmente usados nas regiões e países da UE.

## Projecções cartográficas adoptadas na UE

A directiva INSPIRE 2007/2/EC estabelece as seguintes projecções:

- 1 ETRS89-TMzn: **ETRS89 – Transversa de Mercator**, uma projecção **conforme** recomendada para escalas maiores do que 1:500 000; depende da zona (zn) em que a projecção é centrada;
- 2 ETRS89-LCC: **ETRS89 – Lambert Conic Conformal**, uma projecção **conforme** recomendada para escalas menores do que 1:500 000;
- 3 ETRS89-LAEA: **ETRS89 – Lambert Azimuthal Equal Area**, uma projecção **equivalente** recomendada para cartas estatísticas a qualquer escala.

Propriedades das projecções cartográficas:

- 1 Projecção **conforme**: a forma é preservada, i.e. a escala de projecção em torno de um ponto P é a mesma em todas as direcções;
- 2 Projecção **equivalente**: a área é preservada.

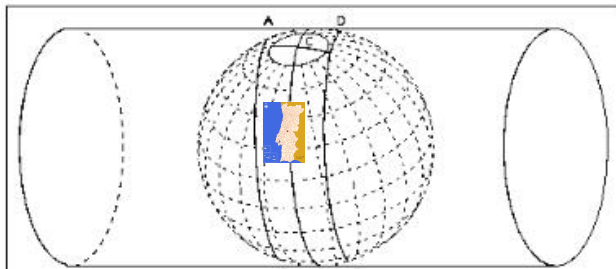
Nota: uma projecção cartográfica não pode ser simultaneamente conforme e equivalente.

## A projecção ETRS89-TM-PT06

A projecção transversa de Mercator (i.e., o cilindro sobre o qual é feita a projecção é transverso) é muito adequada para Portugal Continental, dada a forma do seu território.

Por forma a que as distorções de escala sejam mínimas sobre o território de Portugal Continental, o **ponto central** e **origem das coordenadas cartográficas** da projecção é o seu centro geográfico:

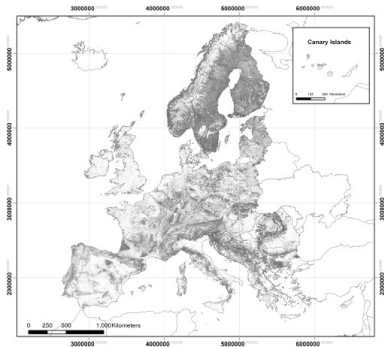
- 1 longitude  $08^{\circ} 07'59.19''$  W
- 2 latitude  $39^{\circ} 40'05.73''$  N



## As projecções ETRS89-LCC e ETRS89-LAEA

As projecções ETRS89-LCC (conforme) e ETRS89-LAEA (equivalente) são únicas para o território da UE.

- ETRS89-LCC tem dois paralelos padrão ( $35^{\circ}$  N e  $65^{\circ}$  N). O ponto central tem coordenadas  $52^{\circ}$  N e  $10^{\circ}$  E; A origem das coordenadas cartográficas está deslocada de 2 800 000m para sul e de 4 000 000m para oeste.
- ETRS89-LAEA. O ponto central tem coordenadas  $52^{\circ}$  N e  $10^{\circ}$  E; A origem das coordenadas cartográficas está deslocada de 3 210 000m para sul e de 4 321 000m para oeste.



**Figura:** Um mapa de áreas florestadas usando o CRS ETRS89-LAEA (Pekkarinen *at al.* 2009)

## Descrição em formato proj4 dos sistemas de coordenadas

Os CRS podem ser descritos, por exemplo, pelo seu código EPSG ou pela descrição proj4. O datum de referência é WGS84.

- 1 **ETRS89-TM-PT06. EPSG 3763:** `+proj=tmerc  
+lat_0=39.66825833333333 +lon_0=-8.133108333333334  
+k=1 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=GRS80 +units=m`
- 2 **ETRS89-LCC. EPSG 3034:** `+proj=lcc +lat_1=35 +lat_2=65  
+lat_0=52 +lon_0=10 +x_0=4000000 +y_0=2800000  
+ellps=GRS80 +units=m`
- 3 **ETRS89-LAEA. EPSG 3035:** `+proj=laea +lat_0=52 +lon_0=10  
+x_0=4321000 +y_0=3210000 +ellps=GRS80 +units=m`

em que `+proj` indica o tipo de projecção, `+lat_0` e `+lon_0` o centro da projecção, `+lat1` e `+lat2` as latitudes padrão da projecção cónica, `+x_0` e `+y_0` a posição da origem das coordenadas cartográficas, `+ellps` o elipsoide e `+units` as unidades.

A **distorção** provocada pela projecção é mínima junto à localização (`lon_0, lat_0`), variando consoante o tipo de projecção.

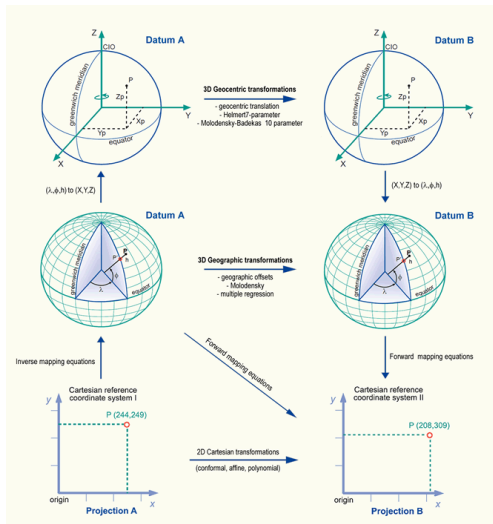
# Transformação de coordenadas e transformação de datum

Quando se usa cdg's com sistemas de coordenadas de referência distintos, pode ser necessário converter coordenadas de um  $\text{CRS}_A$  para um  $\text{CRS}_B$ .

Quando o *datum* é o mesmo (*datum A*), aplica-se a **projectão inversa** sobre  $\text{CRS}_A$  seguida da projectão no  $\text{CRS}_B$ .

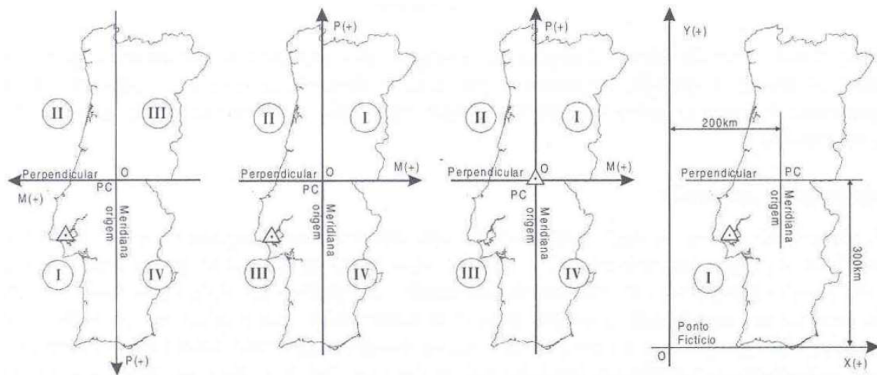
Se os CRS têm *datums* diferentes (*datums A e B*) pode combinar-se as projecções cartográficas com uma **transformação de datum** (A para B) usando:

- 1 coordenadas cartesianas  $x, y, z$ ; ou
- 2 coordenadas geográficas.



## Sistemas obsoletos de coordenadas para Portugal Continental

Existe muita cartografia do território continental português usando um *datum* que não é ETRS89, mas que pode ser convertida para os sistemas adoptados.



Os CRS representados acima são Bessel-Bonne-Lisboa, Hayford-Gauss-Lisboa (HG-Lx), Hayford-Gauss-Datum73 (HG73) e Hayford-Gauss-Militar (HG-militar) (fonte: Gaspar, 2006).

## Transformação de *datum*: exemplo

Considere-se o CRS Hayford–Gauss–Datum73 (ver Slide 193):

```
EPSG 27493: +proj=tmerc +lat_0=39.666666  
+lon_0=-8.131906111111112 +k=1+x_0=180.598  
+y_0=-86.98999999 +ellps=intl +units=m
```

A descrição acima tem que ser completada com os **parâmetros da transformação de *datum*** para o *datum* WGS84, usando coordenadas cartesianas 3D (+towgs84) ou coordenadas geográficas (+nadgrids) para ser compatível com outros CRS.

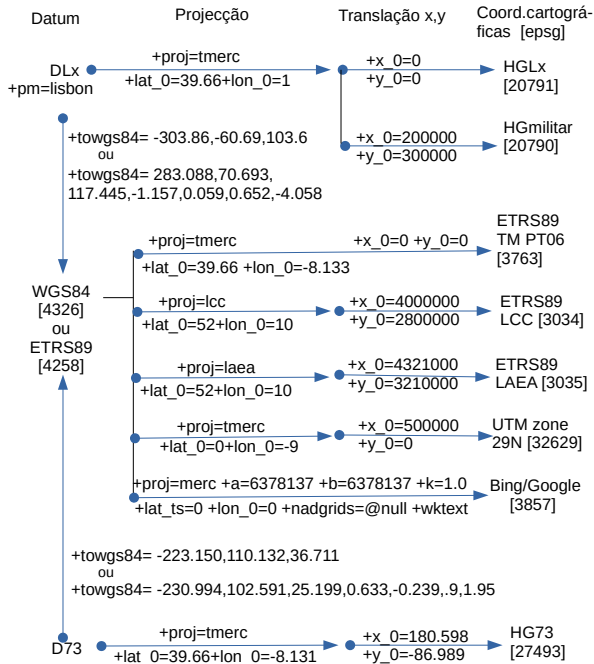
- 1 de 3 parâmetros: +towgs84=-223,110,37,0,0,0,0, com erros posicionais até 2m sobre Portugal Continental;
- 2 de 7 parâmetros: +towgs84=-230.994,102.591,25.199,0.633,-0.239,0.900,1.950, com erros até 1m;
- 3 baseado na grelha NTv2: +nadgrids=pt73\_e89.gsb, com erros até 28cm.



# Resumo

Principais  
projeções e  
algumas  
transformações  
de datum  
relevantes para  
a cartografia de  
Portugal  
Continental.

**Nota:** apenas  
alguns  
coeficientes  
são indicados;  
alguns estão  
truncados.



## Exercício do campo de rugby do ISA (conclusão)

Calcular a distância entre os dois pontos do campo de rugby do ISA (ver Slide 170) a partir das suas coordenadas projectadas:

| Pontos | x (EPSG:3857) | y (EPSG:3857) | x (EPSG:3763) | y (EPSG:3763) |
|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $P_1$  | -1023064.78   | 4681130.78    | -91950.42     | -105142.75    |
| $P_2$  | -1023018.72   | 4681011.04    | -91915.51     | -105236.33    |

As distâncias euclidianas para as coordenadas acima são:

- $\text{dist}(P_1, P_2) = 128.2934$  m, para EPSG:3857 (Google)
- $\text{dist}(P_1, P_2) = 99.87955$  m, para EPSG:3763 (ETRS89-TM-PT06)

A medição sobre coordenadas EPSG:3763 é muito precisa. O valor obtido é próximo do valor medido sobre o elipsoide WGS84 que é 99.82374 m.

O valor dado pelas coordenadas “Google” deve-se à distorção gerada pela projecção de Mercator (não transversa), que provoca um afastamento dos pontos que aumenta à medida que se afastam do Equador. Por isso não se deve medir distâncias sobre EPSG:3857.

## Exercício

O CRS obsoleto conhecido como “coordenadas militares” para Portugal Continental (Hayford Gauss Militar) tem os seguintes parâmetros:

```
+proj=tmerc +lat_0=39.66666666666666 +lon_0=1 +pm=lisbon  
+x_0=200000 +y_0=300000 +ellps=intl +units=m +k=1  
+towgs84=-283.088,-70.693,117.445,-1.157,0.059,-0.652,-4.05
```

- 1 O datum deste CRS é na prática idêntico ao datum WGS84?
- 2 Em que situação o parâmetro `+towgs84` é opcional? E obrigatório?
- 3 A projecção é conforme. Qual é a propriedade preservada por esta projecção?
- 4 Onde se situa o centro da projecção, com distorção nula?
- 5 Qual é a justificação para a escolha dos valores  
`+x_0=200000 +y_0=300000`?

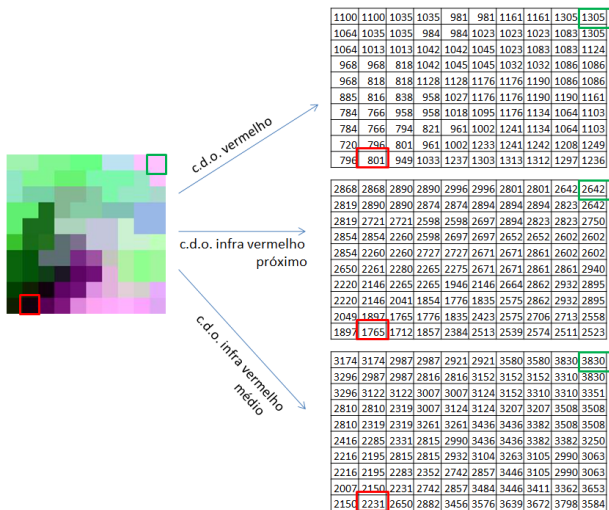
## Introdução à detecção remota

**Detecção remota** designa o conjunto de técnicas para obtenção de informação sobre um objecto por um sensor que não está em contacto físico com o objecto e para interpretação dessa informação.

Contudo, detecção remota envolve tipicamente informação que pode ser representada por um conjunto de valores de pixels de uma imagem e que pode ser processada digitalmente.

Em geral, as imagens de detecção remota são obtidas através de sensores digitais instalados em satélites, mas podem igualmente ser obtidos por sensores instalados em aviões, em laboratório, ou por sensores portáteis usados em trabalho de campo.

# Que informação está contida em imagens de detecção remota?



As imagens são em geral **multiespectrais**. Contém a resposta ao sinal à superfície para distintos comprimentos de onda.

## Questão I: porque é que DR é em geral multiespectral?

Detecção remota é feita em várias bandas espectrais.

- 1 O que isso significa?
- 2 Porque é útil usar várias bandas?
- 3 Como diferem as várias bandas na resposta ao sinal da superfície e da atmosfera?

## (1) Radiação electromagnética

As observações por detecção remota implicam algum tipo de transmissão de energia entre o objecto observado e o sensor. A fonte de energia pode ser o sol, um emissor artificial, ou própria superfície.

Formas de transmissão de energia:

- convecção (movimento de moléculas em fluidos);
- condução (em sólidos);
- energia latente (mudança de estado sem alteração de temperatura como em evaporação, transpiração ou condensação);
- **radiação electromagnética** – a mais relevante para detecção remota.

A radiação electromagnética é simultaneamente de natureza ondulatória e de natureza corpuscular.



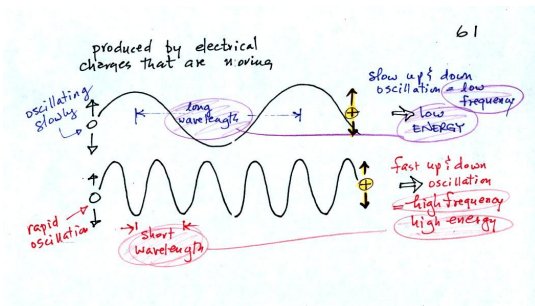
## Natureza ondulatória da radiação

As ondas electromagnéticas são periódicas e propagam-se no vácuo à velocidade da luz ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ).

As ondas são caracterizadas por

- frequência  $\nu$ : medida em ciclos por segundo ou hertz (Hz); ou
- comprimento de onda  $\lambda$ : normalmente medido em nanómetros ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) ou micrómetros ( $1 \mu\text{m} = 1000 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ m}$ ).

A relação entre essas grandezas dada por  $c = \lambda \nu$ .



## Natureza corpuscular e intensidade da radiação

A radiação electromagnética também é interpretada como uma sucessão de fotões (ou quanta).

A **energia** transportada por um fotão e a frequência da correspondente onda electromagnética estão relacionados por

$$Q = h\nu \quad \text{ou} \quad Q = \frac{hc}{\lambda}, \quad (\text{J})$$

em que  $Q$  é medido em joules (J) e  $h$  é a constante de Planck ( $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{Js}$ ).

Consequentemente, a **quantidade de energia diminui com o aumento do comprimento de onda da radiação**.

O *fluxo* de energia (i.e. **potência**) é medido em watts ( $\text{W} = \frac{\text{J}}{\text{s}}$ ).

*Nota:* watt-segundo é uma unidade de energia (=1J). Para valores elevados usa-se a unidade **quilowatt-hora** (kWh) que é igual a  $3.6 \times 10^6$  joules, i.e. 3600kJ. Exemplo: uma lâmpada “de 100W” tem uma *potência* de 100W; a *energia* que consome durante uma hora é  $100\text{Wh} = 0.1\text{kWh} = 360\text{kJ}$ .

## Lei de Plank e Lei de Wien

Todos os objectos (como por exemplo o sol) com temperatura superior ao zero absoluto ( $0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$ ) emitem energia.

A **Lei de Planck** caracteriza a radiação emitida por um corpo negro (objecto ideal que absorve toda a radiação incidente) a uma dada temperatura ( $T$ ) e para um dado comprimento de onda ( $\lambda$ ).

Para todo o espectro, o fluxo de energia emitida por um corpo negro é

$$M_n = sT^4 \text{ (W m}^{-2}\text{)},$$

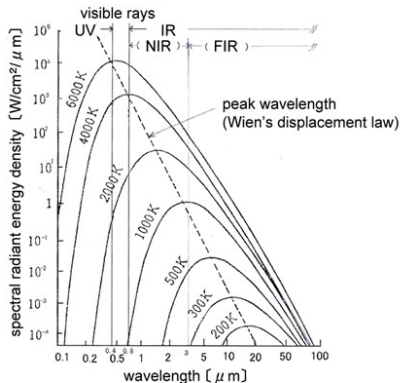
em que  $T$  é a temperatura absoluta em graus Kelvin (K) e  $s$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $s = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ).

O comprimento de onda dominante dessa radiação é dada pela **Lei de Wien**:

$$\lambda_{\max} = \frac{k}{T} \text{ (}\mu\text{m)},$$

em que  $k$  é uma constante de valor  $2898 \mu\text{m K}$ .

# Ilustração da variação do comprimento de onda dominante da radiação emitida e da emitância com a temperatura absoluta



**Figura:** Ilustração da Lei de Wien ( $\lambda_{\text{max}} = \frac{k}{T}$ ). O eixo vertical (logarítmico) indica a energia emitida por unidade de superfície ( $\text{Wcm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ ). O pico de cada curva depende da temperatura. <http://www.enseki.or.jp/>

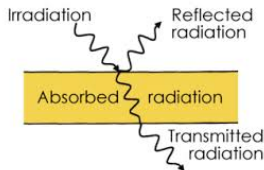
## Aplicação da Lei de Wien a algumas superfícies

|                    | Temperatura (K) | $\lambda_{\max}(\mu\text{m})$ |
|--------------------|-----------------|-------------------------------|
| Sol                | 6000            | 0.483                         |
| Vulcão             | 1350            | 2.147                         |
| Incêndio florestal | 1000            | 2.898                         |
| Área urbana        | 315             | 9.200                         |
| Floresta           | 300             | 9.660                         |
| Terra              | 288             | 10.063                        |
| Gelo               | 273             | 10.615                        |

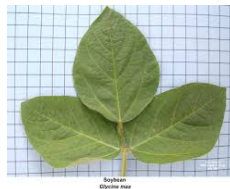
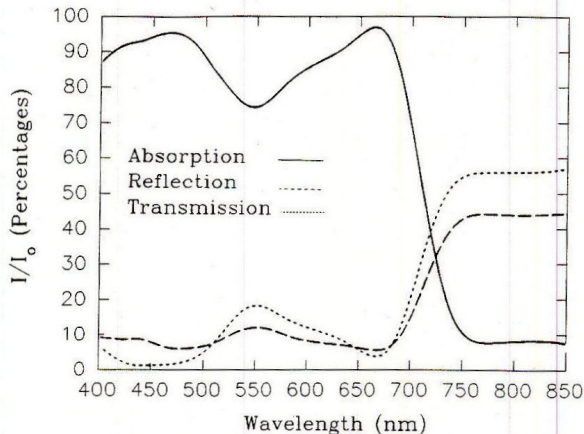
## (2) Emissividade, reflectância, transmitância e absorptância

- **Emissividade**  $\varepsilon$ : razão entre radiação emitida pelo objecto e a radiação emitida por um corpo negro a igual temperatura. Varia entre 0 e 1 e depende do comprimento de onda.
- **Reflectância** ( $\rho$ ), **absortância** ( $\alpha$ ) e **transmitância** ( $\tau$ ): cada um é a proporção da energia incidente que é respectivamente reflectida em qualquer direcção, absorvida e transmitida. Dependem do comprimento de onda.

$$\rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = 1.$$



## Decomposição da radiação incidente (exemplo)



**Figura:** Decomposição da energia incidente em folhas de soja para diversos comprimentos de onda. <http://www.controlledenvironments.org/>. A figura ilustra a dependência de  $\alpha(\lambda)$ ,  $\rho(\lambda)$  e  $\tau(\lambda)$  relativamente ao comprimento de onda  $\lambda$ .

## Questão 2: uma direcção de observação é suficiente?

Uma das principais grandezas físicas que se pretende estimar por detecção remota é a **reflectância** da superfície.

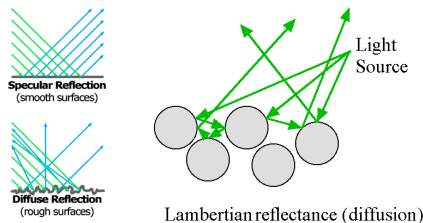
No entanto, cada imagem de DR corresponde a uma **única direcção** de observação enquanto que reflectância ocorre em **todas as direcções**.

- 1 Como se relaciona o sinal medido pelo sensor com a reflectância?
- 2 Para que tipo de superfícies existe uma relação simples entre o sinal e a reflectância?



## Efeito da rugosidade do material sobre a reflexão da radiação incidente

- reflectores difusos (lambertianos): o comprimento de onda da radiação é inferior às variações na rugosidade e à dimensão das partículas da superfície reflectora;
- reflectores especulares: o caso oposto, em que a superfície comporta-se como essencialmente como um “espelho”.



**Figura:** Tipos de reflexão e efeito da rugosidade da superfície na reflexão.

<http://www.screenetekinc.com/> e <http://nuweb2.neu.edu/>

## Geometria de observação

A quantidade de radiação reflectida depende da posição da fonte de iluminação e do observador.



**Figura:** Efeito da posição do observador relativamente à posição da fonte de iluminação (sol). Na figura da esquerda, o sol está atrás do observador e na fotografia da direita o sol está à frente do observador.

<http://www-modis.bu.edu/brdf/images/>

## Sensores, radiância, e medição da reflectância

Os sensores dos satélites medem essencialmente a **radiância** da superfície – grandeza “cónica” – mas os materiais à superfície são usualmente caracterizados pela sua **reflectância** – grandeza “hemisférica”.

Como se pode usar o sinal no sensor para estimar a reflectância?

Há essencialmente dois casos:

- Se a superfície é **lambertiana** então existe uma relação simples entre reflectância e radiância.
- Caso contrário é necessário dispor de um modelo de distribuição de reflectância bidireccional que depende do material à superfície e de diversas medições de radiância segundo várias direcções para fazer uma boa estimativa da reflectância.

Muitos produtos de detecção remota estão disponíveis como **reflectância da superfície** para facilidade de utilização. Para um utilizador não especialista em detecção remota e em correcções de imagens, é aconselhado usar esse tipo de dados.

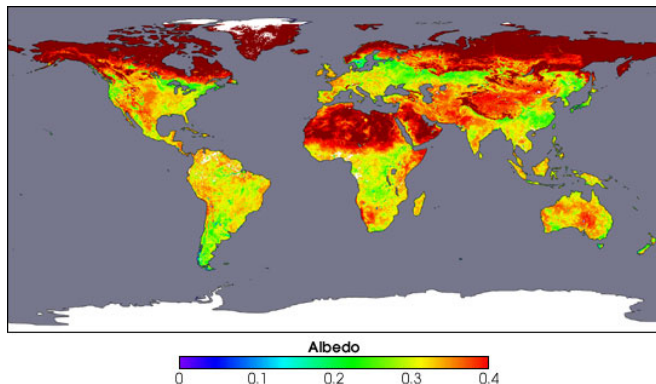
O *albedo* é o valor da proporção de energia solar incidente sobre uma superfície que é reflectida.

Albedo e reflectância são ambos definidos como a razão entre emitância (M) e irradiância (E):

- 1 **Reflectância** é definida como uma grandeza *espectral*  $\rho_{\lambda} = \frac{M_{\lambda}}{E_{\lambda}}$ ;
- 2 **Albedo** corresponde a uma larga gama de comprimentos de onda, como por exemplo a gama de radiação visível.

O albedo depende muito do tipo de material tomando os maiores valores (70-80%) para neve e alguns tipos de nuvens e valores baixos (cerca de 8%) para água profunda. O albedo planetário (cujo valor ronda os 30-35%) é uma grandeza fundamental para caracterizar o balanço de radiação global.

## Albedo planetário estimado a partir de imagens de satélite



**Figura:** Estimativa a partir de imagens multitemporais de Abril 2002 do sensor MODIS do valor médio do albedo para as superfícies terrestres. Observe-se que zonas de deserto e cobertas por neve têm os valores mais elevados. <http://earthobservatory.nasa.gov>

### (3) Regiões do espectro electromagnético

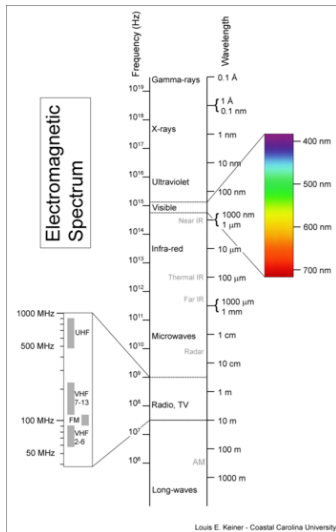
**Espectro electromagnético** é a gama de comprimentos de onda (ou alternativamente, frequências) da radiação electromagnética.

O espectro electromagnético é habitualmente decomposto em **regiões**, que vão dos raios gama (menor  $\lambda$ , maior frequência e maior energia) até às ondas longas usadas em telecomunicações (maior  $\lambda$ , menor frequência e menor energia).

Para a detecção remota da superfície terrestre as regiões mais importantes são

- a região do **visível** (0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ ),
- a região do **infravermelho próximo** (0.7 a 1.2  $\mu\text{m}$ ),
- a região do **infravermelho médio** (1.2 a 8  $\mu\text{m}$ ),
- a região do **infravermelho térmico** (8 a 14  $\mu\text{m}$ ), e
- região das **microondas**, de comprimento de onda superior a 1mm.

# Regiões do espectro electromagnético



**Figura:** Regiões do espectro electromagnético

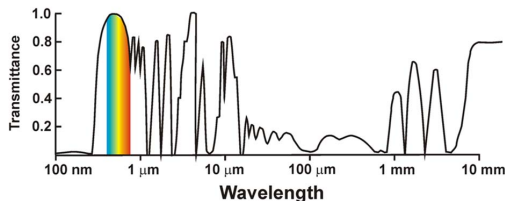
<http://www.scienceprog.com/>

## Transmitância atmosférica

A atmosfera terrestre filtra a radiação. Consequentemente, a gama de comprimentos de onda captados por sistemas de detecção remota está nas seguintes bandas:

- 0.4 a 12  $\mu\text{m}$  (visível e diversas bandas do infravermelho);
- 10 a 300 mm (microondas).

**Janelas atmosféricas:** regiões do espectro nas quais a transmitância atmosférica é elevada.



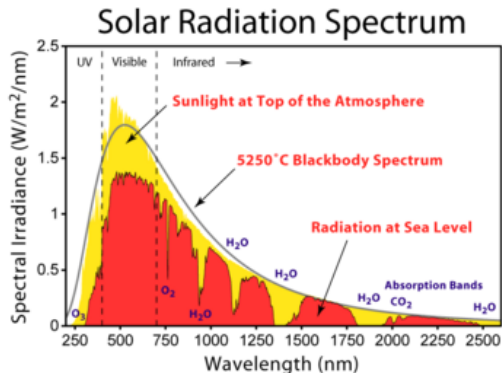
**Figura:** Transmitância atmosférica, <http://www.eeb.ucla.edu/>



## Irradiância solar à superfície

A combinação das janelas atmosféricas e da energia da radiação – que depende do comprimento de onda de acordo com a equação

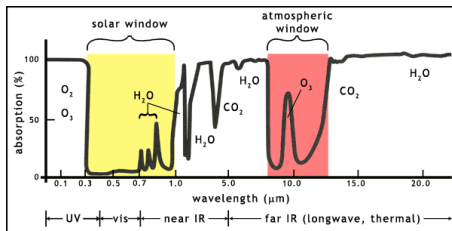
$Q = \frac{hc}{\lambda}$  – determina a irradiância solar sobre a superfície.



**Figura:** Irradiância solar no topo da atmosfera e à superfície em função do comprimento de onda, <http://tmp.kiwix.org>

## Janela solar e janela térmica

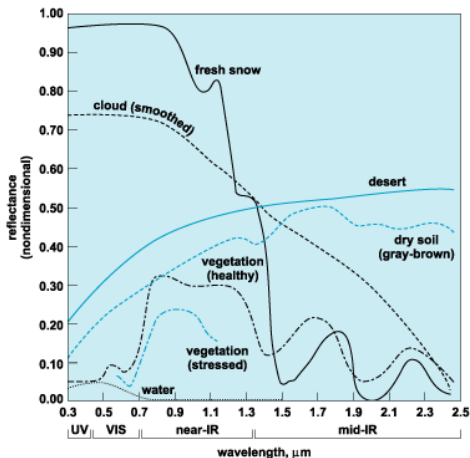
- A **janela solar** (entre 0.3 e 1  $\mu\text{m}$ ) é a gama de c.d.o. para os quais a absorção da radiação solar pela atmosfera é baixa e a fonte de radiação é essencialmente solar.
- A **janela térmica** (vizinhança dos 10  $\mu\text{m}$ ) é a gama de c.d.o. para os quais a absorção da radiação emitida pela superfície pela atmosfera é baixa e em que a radiação provém principalmente dos objectos à superfície.



**Figura:** Absorção atmosférica em função do comprimento de onda com indicações das localizações da janela solar (a amarelo) e da janela térmica (a vermelho), [www.helpsavetheclimate.com/](http://www.helpsavetheclimate.com/)

#### (4) Assinaturas espectrais

A **assinatura espectral** é o padrão de reflectância em função do comprimento de onda da radiação incidente sobre o objecto.



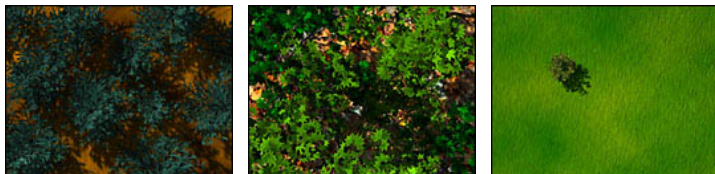
**Figura:** Assinaturas espectrais típicas de neve, nuvens, deserto, solo nu, vegetação e água, <http://accessscience.com/>

## Factores que afectam a assinatura espectral típica em detecção remota

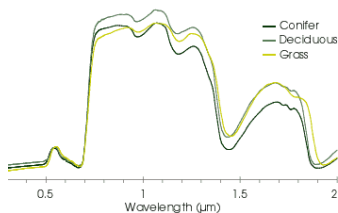
- As imagens são obtidas em determinadas condições de iluminação e observação e por isso o sinal detectado não corresponde precisamente ao conceito de reflectância (hemisférica);
- As bandas dos sensores são em número finito (há uma discretização do sinal);
- O sinal no sensor depende não só pelo material à superfície mas também do efeito da atmosfera;
- Um pixel da imagem pode corresponder a uma mistura de diferentes materiais com assinatura espectrais distintas.

Esses factores introduzem “ruído” na assinatura espectral típica e tornam mais difícil a distinção dos materiais à superfície a partir das imagens de detecção remota.

## Exemplo de ocupações do solo com assinaturas espectrais semelhantes



Spectral Signatures



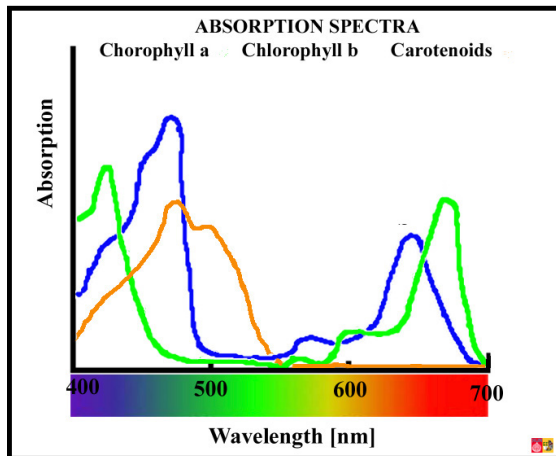
**Figura:** Fotografias verticais e respectivas assinaturas espectrais de solo coberto com coníferas, folhosas e relva

<http://earthobservatory.nasa.gov/>

## Assinaturas espectrais da vegetação

- **região do visível** A clorofila absorve mais na região do azul e do vermelho (com picos de absorção em aproximadamente 0.43-0.45 e 0.64-0.67  $\mu\text{m}$ ) do que no verde (pico de reflexão em 0.54  $\mu\text{m}$  aproximadamente). Em situação de senescência ou de stress, o teor de clorofila diminui e a cor das folhas é mais afectada por outros pigmentos como os carotenos, provocando a mudança de cor de verde para vermelho-amarelado como acontece em certas plantas no Outono. Em geral, a reflectância da vegetação na região espectral do visível (0.3 a 0.7  $\mu\text{m}$ ) é baixa.
- **infravermelho próximo** A estrutura interna das folhas causa um pico de reflectância na região do IV próximo (de 0.7 a 1.3  $\mu\text{m}$ ) com valores que podem atingir 50%.
- **infravermelho médio** Existem picos de absorção em 1.4, 1.9 e 2.7  $\mu\text{m}$  aproximadamente, causados pela presença de água nas folhas.

## Vegetação: assinaturas espectrais de pigmentos



**Figura:** Assinaturas espectrais de vários pigmentos da vegetação,  
<http://www.vcbio.science.ru.nl/>

## Assinaturas espectrais da água

A água é caracterizada por absorver ou transmitir a maior parte da radiação que a atinge.

Em geral, quanto maior o comprimento de onda, menor a quantidade reflectida. Para comprimentos de onda superiores a  $1\text{ }\mu\text{m}$ , a reflectância torna-se praticamente nula.

A reflectância de superfícies aquáticas pode aumentar na presença de **sedimentos** – o aumento da reflectância depende da natureza e das propriedades ópticas dos sedimentos (por exemplo, presença clorofila ou de detritos minerais de dimensões variáveis) –, quando **a profundidade é reduzida**, ou quando a superfície de água é muito regular (espelhada) e o ângulo de observação do sensor é elevado.



## Assinaturas espectrais do solo

Ao contrário da vegetação, a transmissão da radiação nos solos é baixa, e por isso a assinatura espectral destes materiais depende essencialmente das sua camada superior.

Tipicamente, a reflectância dos solos aumenta com o c.d.o.

Os principais factores que afectam a sua reflectância são a **cor** do solo, a **classe** de solos, o teor de **matéria orgânica**, o teor de **ferro**, a composição **mineralógica**, o teor de **humidade**, e a **textura** do solo.

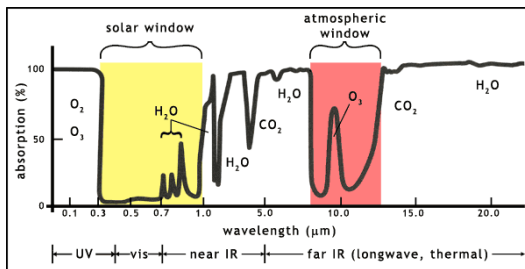
Em geral, um alto teor de **matéria orgânica** provoca – principalmente na região do visível – uma diminuição de reflectância, e um aumento do **teor de humidade** provoca também uma redução da reflectância.

A reflectância também diminui em geral com o aumento do **tamanho das partículas** (textura grosseira) dado que nessa situação, a radiação pode mais facilmente ficar retida no solo.

## (5) Efeito da atmosfera sobre a radiação

A atmosfera é constituída por gases (entre os quais o azoto 78%, oxigénio 21%, árgon 0.9%, vapor de água 0.04%, dióxido de carbono 0.033%, e o ozono 0.012%) e por partículas sólidas suspensas nos gases atmosféricos designadas por aerossóis (como sal, poeiras, e partículas diversas resultantes da poluição atmosférica e de fogos).

Alguns gases têm uma elevada absorção para alguns intervalos de comprimento de onda.



**Figura:** Efeito de gases na absorção atmosférica.

## Efeitos de Rayleigh e de Mie

A dispersão atmosférica depende da dimensão das partículas da atmosfera que a causam e do c.d.o. ( $\lambda$ ) da radiação.

- **Efeito de dispersão de Rayleigh:** é causado pelas moléculas com diâmetro inferior a aproximadamente  $\frac{1}{10} \lambda$  e é **inversamente proporcional a  $\lambda^4$** . Por exemplo, a dispersão causada pela atmosfera na banda do verde é aproximadamente quatro vezes superior à dispersão no infravermelho médio (de maior  $\lambda$ ).
- **Efeito de dispersão de Mie:** ocorre para comprimentos de onda semelhantes ao diâmetro de partículas da atmosfera e também depende do comprimento de onda da radiação, embora essa dependência seja atenuada relativamente à dispersão de Rayleigh. A dispersão de Mie é causada sobretudo por **aerossóis**, e em particular por poeiras.
- **Dispersão não selectiva:** é causada por partículas de dimensão maior do que o comprimento de onda (como gotículas de água nas nuvens). Afecta da mesma forma radiação de diferente comprimento de onda.

## Efeitos de Rayleigh e de Mie: comparação

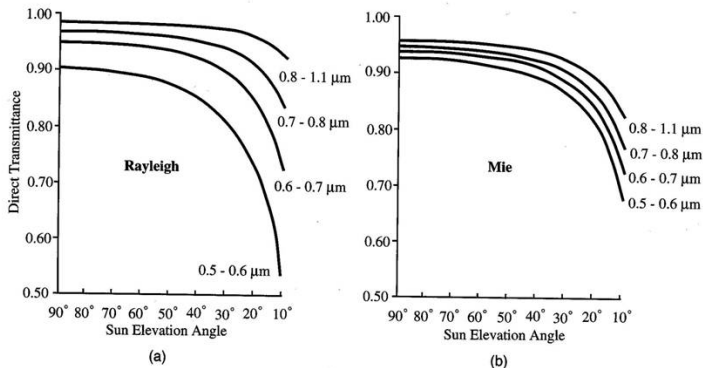
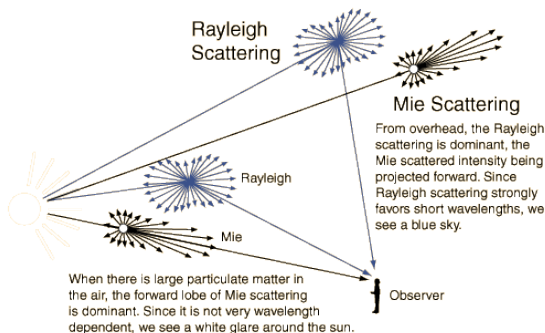


Figure 6-2 (a) Effects of molecular (Rayleigh) scattering and sun angle on incident radiation transmitted to Earth's surface; (b) Effects of aerosol (Mie) scattering and sun angle on radiation transmitted to Earth's surface.

**Figura:** A dispersão de Rayleigh é mais intensa do que a dispersão de Mie, sobretudo para baixos comprimentos de onda.

## Efeitos de Rayleigh e de Mie (ilustração)



**Figura:** Ilustração do efeito de Rayleigh e do efeito de Mie sobre a radiação, na atmosfera, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/>

- Porque é que o céu é azul?
- Porque é que o pôr-do-sol é vermelho?
- Porque é que as nuvens são brancas ou cinzentas?

# Introdução à detecção remota: Sistemas de detecção remota

## Sistemas de detecção remota quanto à fonte de radiação

**Sensores passivos.** Registam a radiação proveniente do sol e reflectida pela superfície (detectores ópticos nas regiões espectrais do visível, infravermelho próximo e médio) ou emitida pela superfície (detectores térmicos na região do infravermelho térmico)

**Sensores activos.** Dispõem de uma fonte de radiação própria acoplada ao sensor e detectam a resposta da superfície a essa radiação.

As duas principais regiões de comprimento de onda usadas por sensores activos são:

- Sistemas de RADAR (RAdio Detection And Ranging): microondas (1mm a 1m);
- Sistemas de LIDAR (Light Detection And Ranging): radiação de c.d.o. próximo do visível (UV, visível, IVP).

## Sistemas de detecção remota quanto ao tipo de órbita

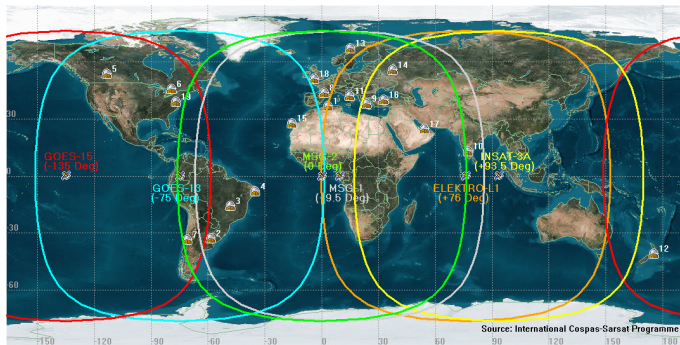
- **Geossíncronos ou geoestacionários**: observam sempre a mesma região do globo. A altitude da órbita é da ordem dos 36000 km para que o período da órbita seja de 24 h. Exemplos: satélites de observação meteorológica METEOSAT e GEOS.
- **Heliossíncronos**, com órbita quase polar: para cobrir toda a superfície terrestre, e assegurar as mesmas condições de iluminação para a mesma zona. Exemplos: satélites de observação da terra como Sentinel, Landsat, SPOT, NOAA, Envisat. As órbitas têm altitude em torno dos 700-800km.

Os satélites geoestacionários obtêm informação com uma grande frequência temporal. Podem obter imagens de 15 em 15 minutos da mesma região do globo.



# Satélites geoestacionários

Este tipo de satélites observa sempre a mesma porção do globo.

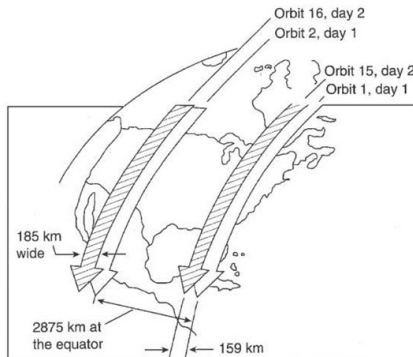


**Figura:** Áreas observadas por alguns satélites geoestacionários.

<http://www.cospas-sarsat.org/images/>, 20.04.2012.

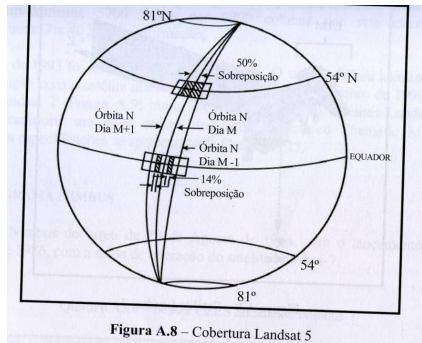
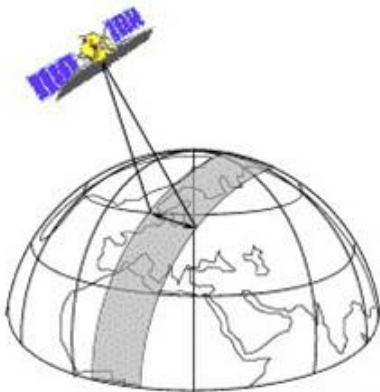
## Órbita heliossíncrona quase polar

O objectivo de uma órbita heliossíncrona é obter imagens em condições de iluminação semelhantes. Assim, as órbitas destes satélites acompanham a posição do sol.



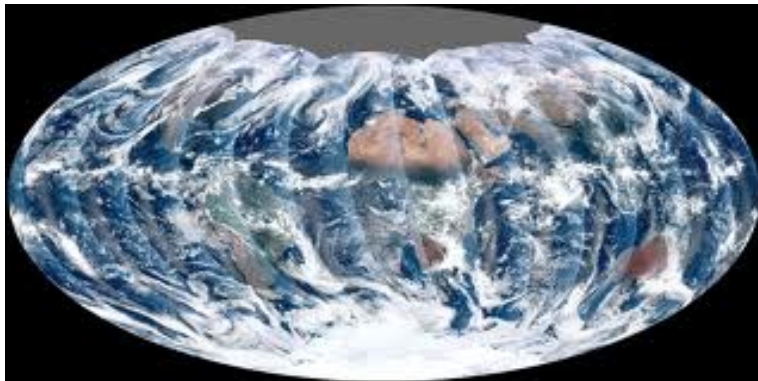
**Figura:** Ilustração de uma órbita quase polar e sincronizada com a posição do sol. <http://what-when-how.com/>, 20.04.2012.

# Geometria de aquisição de imagens por satélites heliossíncronos



**Figura:** Ilustração da aquisição de imagens por um sensor instalado a bordo de um satélite com órbita heliossíncrona. As faixas de observação têm uma maior sobreposição para latitudes elevadas.

## Exemplo: observações do sensor Suomi NPP/VIIRS



**Figura:** Composição de faixas de observação do sensor VIIRS. Cada faixa mede aproximadamente 3000km.

<http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/>, 20.04.2012

## Tipos de resolução das imagens

Os sensores passivos medem a radiação solar reflectida pela superfície ou radiação térmica emitida pela superfície. Não possuem uma fonte de radiação própria.

Em geral, resolução diz respeito à capacidade de discriminar informação. Pode distinguir-se a capacidade de *detecção*, i.e., decidir sobre a ocorrência de um qualquer objecto (e.g. ocorrência de um fogo activo) e a capacidade de *identificação* (e.g. delimitação de uma área ardida).

Existem diferentes tipos de resolução:

- Resolução espacial (dimensão da parcela);
- Resolução espectral (número e tipo de bandas);
- Resolução temporal (frequência temporal);
- Resolução radiométrica (níveis do sinal);
- Resolução angular (ângulos de observação).

## Resolução espacial

A resolução espacial pretende medir a dimensão (linear) do mais pequeno objecto que pode ser detectado numa imagem. Mas um objecto de uma certa dimensão no terreno pode ou não ser detectado dependendo do contraste com os objectos vizinhos.

Assim, **resolução espacial** deve ser uma medida que não depende dos objectos à superfície mas apenas das características do sensor, em particular da altitude do sensor  $H$  (m) e do campo de visão instantâneo IFOV. Por isso define-se resolução espacial como o **GIFOV** (campo de visão instantâneo projectado no terreno) para um ângulo de varrimento de  $0^\circ$  (observação no nadir)

$$\text{GIFOV}_0 = 2 H \times \tan \frac{\text{IFOV}}{2} \quad (\text{m})$$

Esta medida é interpretada como sendo o comprimento do lado de uma parcela de terreno que corresponde a um pixel na imagem de satélite quando a observação é vertical.

## Resolução espacial (continuação)

Classificação dos sensores quanto à resolução espacial:

**Muito boa resolução** resolução espacial até 4 m. Exemplos: constelação de satélites DigitalGlobe – QuickBird, WorldView-1 e 2, IKONOS (1999), GeoEye-1 (2008) e GeoEye-2 (2013) este com resolução entre 34cms (pancromático) e 1.36m (multiespectral, 4 bandas) –; EROS-A e B (2000, 2006); SPOT5-HRG, SPOT6/7 (2012) com resolução espacial de 1.5m (pan) e 8m (multiesp.); Pléiades (2013, 50cm a 2m);

**Boa ou média resolução** resolução espacial entre 4 a 30 m. Exemplos: SPOT 4 e 5; Landsat 5 e 7 e Landsat 8 (2013); Sentinel-2 (ESA); TERRA/ASTER (NASA); Hyperion (EO-1/NASA);

**Resolução grosseira** resolução espacial maior do que 30m, adequada para análises globais. Exemplos: Aqua e Terra MODIS e NPP/VIIIRS (NASA); ENVISAT/MERIS (ESA), NOAA/AVHRR; SPOT/VTG.

## Exercício

O sensor ETM+ do satélite Landsat tem 7 bandas espectrais: as bandas 1 a 3 correspondem à região da radiação visível, a banda 4 situa-se no infravermelho próximo e as bandas 5 e 7 no infravermelho médio. A banda 6 é a banda que corresponde aos maiores comprimentos de onda (10.4 a 12.5  $\mu\text{m}$ ).

- 1 Por que motivo a banda 6 é designada de *banda térmica*?
- 2 As resoluções espaciais das bandas 5 e 6 são, respectivamente, 30 m e 60 m para este sensor. Indique uma justificação para essa diferença.



## Resolução espectral

A **resolução espectral** é definida pelo número de bandas do sensor e pela gama espectral (intervalo de comprimentos de onda) dessas bandas. Distinguem-se dois modos de obtenção de imagens quanto à resolução espectral:

- **Modo pancromático**: uma só banda (um único intervalo de c.d.o.);
- **Modo multiespectral**: várias bandas em regiões espectrais distintas.

Por exemplo a resolução espectral do sensor VGT (a bordo dos satélites SPOT-4 e SPOT-5) tem uma resolução espectral de 4 bandas com as seguintes gamas de comprimento de onda:  $0.43\text{-}0.47\mu\text{m}$  (azul),  $0.61\text{-}0.68\mu\text{m}$  (vermelho),  $0.78\text{-}0.89\mu\text{m}$  (infravermelho próximo) e  $1.58\text{-}1.75\mu\text{m}$  (infravermelho médio).

## Resolução espectral (continuação)

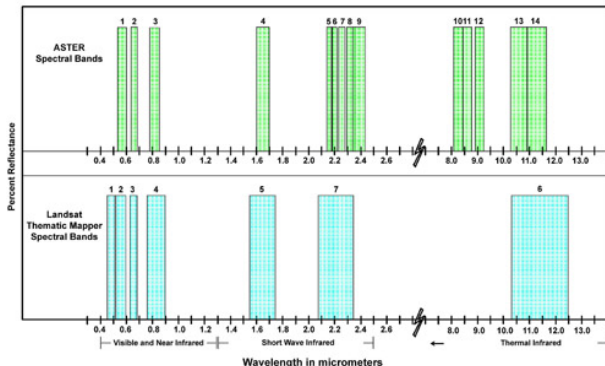
Classificação das imagens multiespectrais quanto à resolução espectral:

**Alta resolução espectral** : de 15 a 220 bandas. Exemplos: EO-1/Hyperion (220 bandas, até  $2.5\mu\text{m}$ ); MODIS (36 bandas, até  $14.385\mu\text{m}$ ); VIIRS (22 bandas, até  $12\mu\text{m}$ ).

**Média resolução espectral** : de 5 a 15 bandas. Exemplos: Landsat 5 e 7; NOAA/AVHRR; futuro MSI/ESA Sentinel-2 (13 bandas, até  $2.4\mu\text{m}$ ).

**Baixa resolução espectral** : menos de 5 bandas. Exemplos: SPOT-5 (4 bandas multiespectrais); sensores DigitalGlobe.

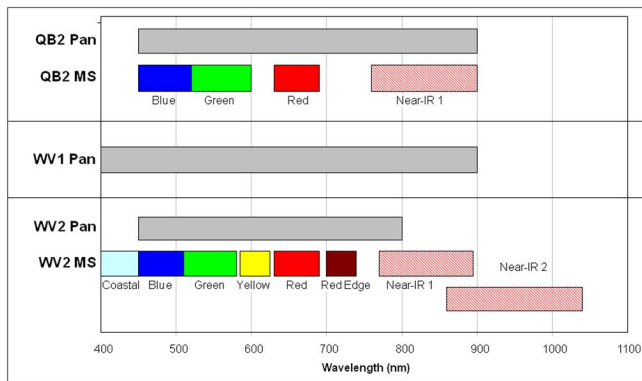
## Resolução espectral: exemplo



**Figura:** Comparação da resolução espectral do sensor Aster, em funcionamento desde 1999, com resolução espacial de 15m (visível e IVP), 30m (IVM) e 90m (IV térmico) e do sensor Landsat-TM com resolução espacial de 30m e 120m (IV térmico), em funcionamento desde 1984. Com o desenvolvimento tecnológico ambas as resoluções podem melhorar.

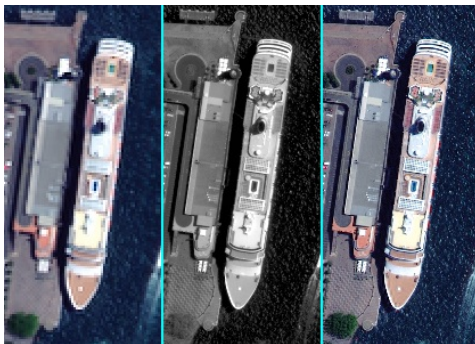
<http://news.satimagingcorp.com/>, 20.04.2012

## Resolução espacial na banda pancromática e nas bandas multiespectrais: exemplo.



**Figura:** Resolução espectral dos sensores Quickbird, Worldview-1 e Worldview-2. Para imagens pancromáticas e multiespectrais as resoluções espaciais para Quickbird são 61cm e 2.44m e para Worldview são 46cm e 1.84m. <http://www.scanex.ru/imgs/>, 16.05.2012.

## Resolução espacial na banda pancromática e nas bandas multiespectrais: exemplo.



**Figura:** A resolução espacial das imagens multiespectrais Worldview é 1.84m (à esquerda). A resolução espacial das imagens pancromáticas Worldview é 46cm (ao centro). À direita está representada uma composição colorida usando um algoritmo de fusão da imagem pancromática com as imagens multiespectrais. <http://www.geoimage.com.au/>, 16.05.2012.

## Exercício

O sensor Quickbird tem uma resolução espacial de 61 centímetros no modo pancromático e 2.44 metros no modo multiespectral (4 bandas espectrais, entre os  $0.45 \mu\text{m}$  e os  $0.9 \mu\text{m}$ ).

- 1 Defina *resolução espacial* e *modo pancromático*.
- 2 Indique uma justificação para a diferença de resolução das imagens Quickbird no modo pancromático e no modo multiespectral.
- 3 Dada a sua resolução espectral, considera que as imagens Quickbird são adequadas para avaliar de forma directa características do coberto tais como o teor de água ou a temperatura? Justifique.
- 4 Suponha que uma banda (não compactada) da imagem multiespectral de uma certa região ocupa 100 kilobytes. Mostre que uma banda de uma imagem pancromática da mesma região ocupa 1600 kilobytes.

## Resolução temporal

A **duração do ciclo orbital** de um satélite (em dias) é o intervalo de tempo entre duas passagens consecutivas de um satélite na vertical do mesmo lugar. Em cada passagem, um sensor instalado no satélite observa o globo com um determinado campo de visão FOV e por isso adquire informação sobre uma faixa no terreno com largura igual ao GFOV.

A **resolução temporal** (medido em dias ou horas) de um sensor é o intervalo de tempo entre observações sucessivas no mesmo local, possivelmente realizadas com ângulos de observação distintos.

Dada a geometria de observação, a resolução temporal varia com a latitude e com o ângulo de varrimento do sensor.

## Resolução temporal (continuação)

Se um sensor tem direcções de observação pré-definidas então a resolução temporal depende do campo de visão (FOV): um maior campo de visão corresponde a uma resolução temporal mais curta.

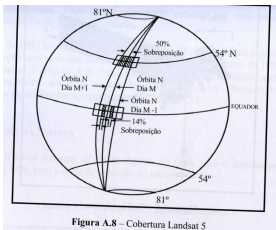
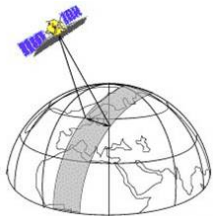


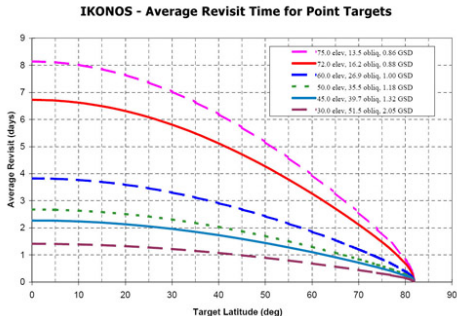
Figura A.8 – Cobertura Landsat 5

**Figura:** Ilustração da aquisição de imagens por um sensor instalado a bordo de um satélite com órbita heliosíncrona. As faixas de observação têm uma maior sobreposição para latitudes elevadas.



## Resolução temporal para sensores de geometria variável

Para alguns sensores é possível alterar a geometria de observação em órbita e assim reduzir a resolução temporal para um dado local.



**Figura:** O sensor de muito boa resolução espacial IKONOS tem um ciclo orbital com duração de 144 dias. No entanto pode adquirir imagens em intervalos de tempo mais curtos com ângulos de observação distintos. As linhas inferiores correspondem a maiores ângulos de varrimento. A resolução temporal depende também da latitude do lugar.

## Resolução temporal

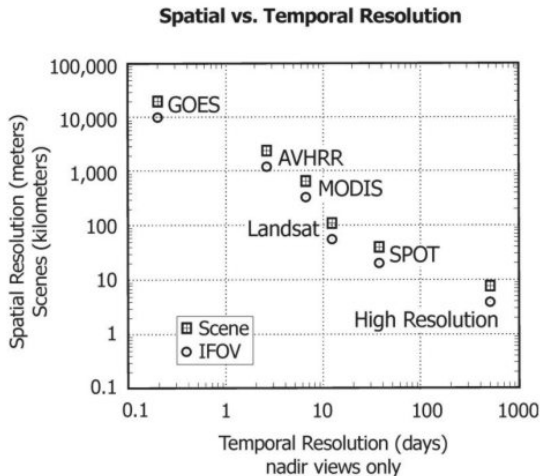
A resolução temporal é em geral pior para sensores com uma boa resolução espacial. No entanto, os sensores de boa resolução espacial com geometria de observação variável podem ter uma boa resolução temporal.

**Boa resolução temporal** : até 1-2 dias. Exemplos: NOAA/AVHRR (6 horas); TERRA/AQUA (1 dia); SPOT-VGT (1 dia); METEOSAT (15-30 minutos); SPOT-HRG (geometria variável), IKONOS (geometria variável).

**Resolução temporal média** : entre 3 e 16 dias. Exemplos: Landsat TM e ETM.

**Fraca resolução temporal** : maior do que 16 dias. SPOT-HRV e SPOT-HRVIR.

# Comparação de resolução espacial e de resolução temporal



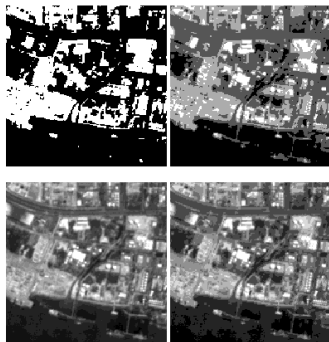
**Figura:** Comparação de resolução espacial e resolução temporal para alguns sensores. <http://www.geog.ucsb.edu/>, 20.04.2012.

Os sensores SPOT-VEGETATION e SPOT-HRVIR estão na mesma plataforma (SPOT-4) e têm a mesma resolução espectral na banda do infravermelho próximo. O primeiro tem uma resolução espacial de 1 km e o segundo tem uma resolução espacial de 20m.

- Supondo que a orientação dos sensores é idêntica, qual dos sensores deverá ter a melhor resolução temporal? Justifique a sua resposta utilizando as noções de campo de visão instantânea do sensor (IFOV) e de distância no terreno associada ao campo de visão do sensor (GFOV), i.e., a largura de imagem.

## Resolução radiométrica

A resolução radiométrica é medida em bits. Se o sensor tiver a capacidade de distinguir  $N = 2^n$  níveis radiométricos do sinal, então a resolução radiométrica é  $n$ . A resolução radiométrica mais comum é de 8 bits mas pode ir até 12 bits (MODIS). Para 8 bits por exemplo, os níveis radiométricos são numerados de 0 a 255.



**Figura:** A mesma zona representada por imagens com resoluções radiométricas de 1, 2, 3, e 4 bits e a mesma resolução espacial.

## Resolução angular

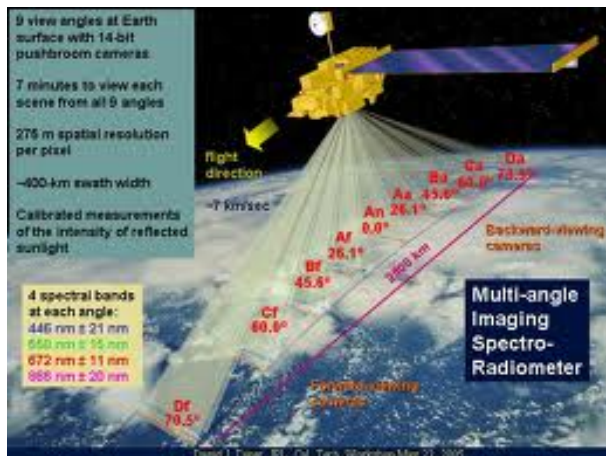
A resolução angular é definida pelo conjunto de ângulos de observação com que o sensor pode observar o mesmo lugar.

A maior parte dos sensores pode observar o mesmo local sob direcções distintas mas, em geral, de forma espaçada no tempo (resolução temporal do sensor).

Alguns programas de observação permitem observações quase simultâneas segundo ângulos diferentes como os sensores ASTER, SPOT5, e mais recentemente, Sentinel-3.

A medição de radiâncias sob ângulos distintos é necessárias para obter medições fiáveis de algumas grandezas como o albedo. A aquisição de stereo pares possibilita a derivação de modelos digitais de elevação.

# Ilustração de resolução angular



**Figura:** O sensor MISR faz observações quase simultâneas com diferentes ângulos de varrimento.

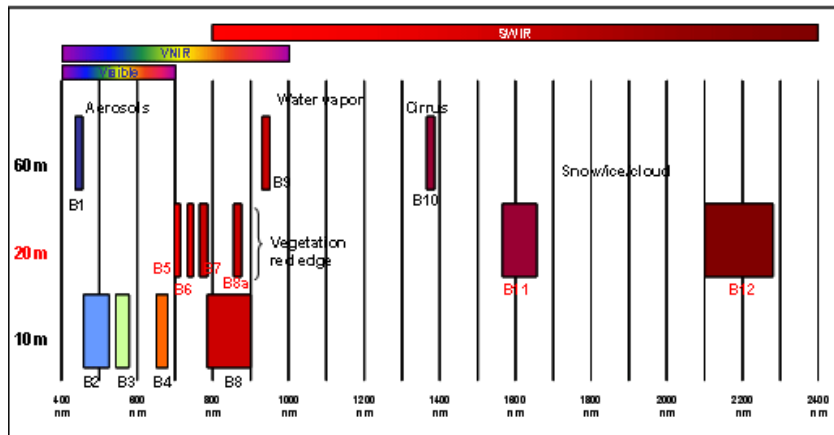
## Exercício

Os satélites Sentinel-2 (ESA) transportam sensores MSI com 13 bandas espectrais, entre  $0.443\ \mu\text{m}$  e  $2.19\ \mu\text{m}$ , resolução espacial de 10m (4 bandas) , 20m (6 bandas) ou 60m (3 bandas para correcções atmosféricas e detecção de nuvens), FOV de 290 km e resolução radiométrica de 12 bits. A resolução temporal é de 5 dias no Equador para o par de satélites S2-A e S2-B.

- 1 A resolução temporal para regiões afastadas do Equador será superior ou inferior a 5 dias? Justifique.
- 2 Proponha uma justificação para a diferença de amplitude da gama de comprimento de onda da banda B8 (resolução espacial de 10m) com a banda B8a (resolução espacial de 20m).
- 3 Indique uma razão pela qual o sensor não tem uma banda com 10m de resolução espacial para a região  $.4\text{--}.5\ \mu\text{m}$ .
- 4 Diga por que razão a banda para avaliação do efeito dos aerossóis tem valores baixos de comprimento de onda.
- 5 Será que o par de satélites S2-A e S2-B é adequado para monitorizar com frequência semanal o estado vegetativo de cereais de inverno no centro da Europa?



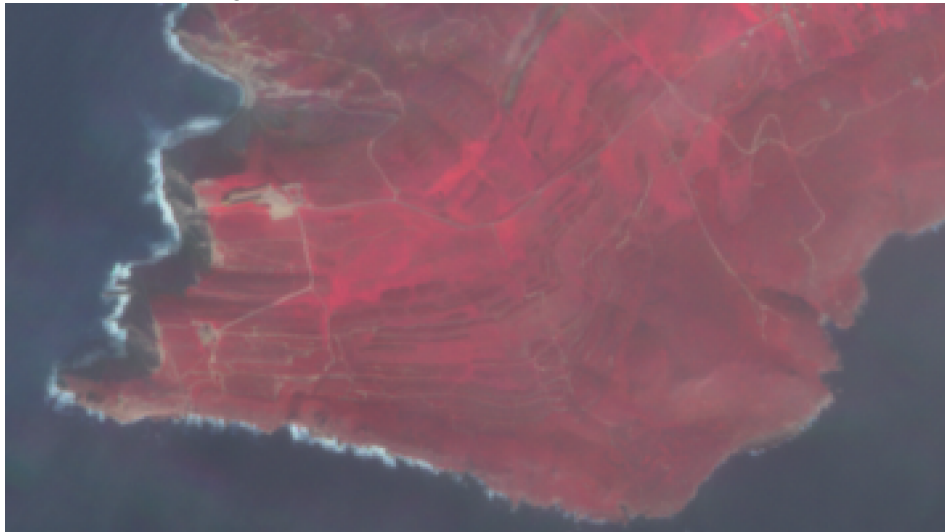
## Resolução espectral do sensor Sentinel 2-MSI



**Figura:** Resolução espectral do sensor MSI a bordo do satélite Sentinel-2 (ESA). <http://www.cesbio.u-ps-tlse.fr/>, 15.05.2012.

## Sentinel 2A: ilustração

Composição colorida em falsa cor de bandas 10m de imagem Sentinel 2A sobre o Cabo Espichel (fevereiro de 2016). É visível o efeito da atmosfera na imagem.

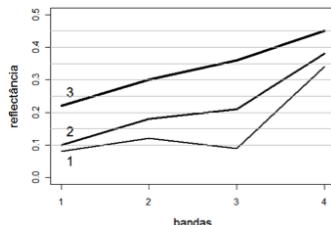
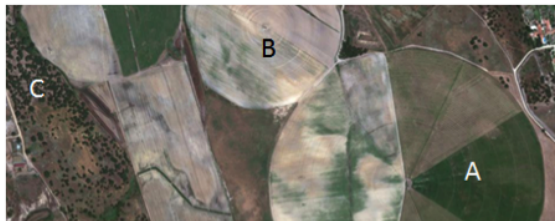


## Exercício

Considere uma imagem e algumas assinaturas espectrais para o sensor GeoEye1 com as seguintes características.

| Band         | Wavelength ( $\mu\text{m}$ ) | Bandwidth ( $\mu\text{m}$ ) | Resolution (m) | Swath width (km) | Revisit time (days) |
|--------------|------------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|---------------------|
| Band 1 (VIS) | 0.45 to 0.51                 |                             | 1.65           | 15.2             |                     |
| Band 2 (VIS) | 0.51 to 0.58                 |                             | 1.65           | 15.2             |                     |
| Band 3 (VIS) | 0.655 to 0.69                |                             | 1.65           | 15.2             |                     |
| Band 4 (NIR) | 0.78 to 0.92                 |                             | 1.65           | 15.2             |                     |

Estabeleça uma associação entre cada um dos pontos assinalados (A,B,C) na composição colorida em cor verdadeira e as três assinaturas espectrais.



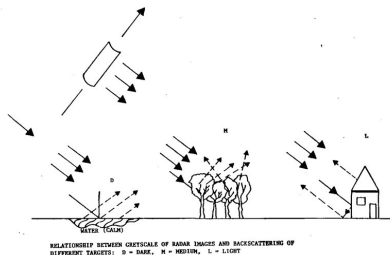
## Sistemas activos de detecção remota

Estes sistemas podem ser classificados em função do tipo de informação que adquirem: coeficiente de retrodifusão da superfície ou distância aos objectos a detectar.

- 1 **Imagens RADAR** : Embora as imagens têm um aspecto semelhante a imagens de detectores ópticos, os princípios de aquisição são muito distintos. Uma imagem de radar tem dois tipos de resolução espacial.
  - ▶ **resolução de alcance**: é a resolução na direcção perpendicular ao movimento da plataforma e depende das características dos impulsos de radiação;
  - ▶ **resolução azimutal**: é a resolução na direcção do movimento da plataforma e depende do tamanho da antena. Para melhorar esta resolução muitos sistemas usam uma *abertura sintetizada* i.e. simulam uma antena de maiores dimensões tirando partido do movimento da plataforma.
- 2 **Altímetros** (RADAR ou LIDAR): sistemas que medem distâncias na vertical entre o sensor e a superfície. A partir do intervalo de tempo entre a transmissão e recepção de um impulso, a distância ao alvo pode ser determinada.

## RADAR

Em sistemas RADAR o transmissor envia na direcção da superfície impulsos de microondas com um certo comprimento de onda e uma certa duração. Em sistemas RADAR, a radiação incidente e a observação são realizadas numa direcção oblíqua.



**Figura:** O transmissor de microondas incide sobre a superfície numa direcção oblíqua ao plano terrestre e é reflectido de acordo com a geometria e a rugosidade dos objectos à superfície. A superfície “suave” é mais escura na imagem, e a superfície artificial vertical na direcção perpendicular à direcção de observação é a mais brilhante. <http://galathea3.emu.dk/>, 23.04.2012

## Bandas de c.d.o. em imagens RADAR

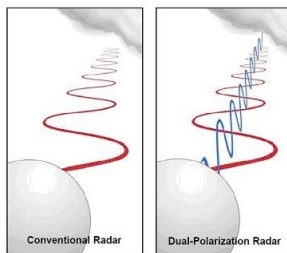
| Radar Band | Frequency (GHz) | Wavelength (cm) |
|------------|-----------------|-----------------|
| Millimeter | 40 to 100       | 0.75 to 0.30    |
| Ka         | 26.5 to 40      | 1.1 to 0.75     |
| K          | 18 to 26.5      | 1.7 to 1.1      |
| Ku         | 12.5 to 18      | 2.4 to 1.7      |
| X          | 8 to 12.5       | 3.75 to 2.4     |
| C          | 4 to 8          | 7.5 to 3.75     |
| S          | 2 to 4          | 15 to 7.5       |
| L          | 1 to 2          | 30 to 15        |
| UHF        | 0.3 to 1        | 100 to 30       |

**Figura:** Gammas de comprimento de onda usuais em bandas em sensores de microondas. <http://www.eetimes.com/>, 23.04.2012

## Polarização em imagens RADAR

Para aumentar o conteúdo de informação dos sinais de radar, vários modos de polarização podem ser considerados na emissão e recepção do sinal.

Em particular, a polarização pode ser vertical ou horizontal, havendo portanto quatro modos – **HH**, **VV**, **HV**, **VH** – em que o primeiro símbolo representa a polarização da radiação emitida, e o segundo representa a polarização da radiação captada pela antena do sensor.



**Figura:** Ilustração de polarização horizontal e vertical em impulsos de RADAR. <http://www.roc.noaa.gov/>, 23.04.2012.

## Características da superfície que afectam o sinal em imagens RADAR

O sinal em imagens de RADAR depende de características da superfície fundamentalmente distintas das características que afectam as imagens de detectores ópticos.

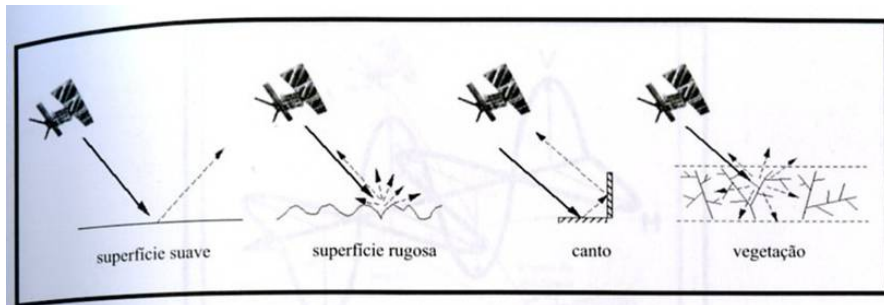
Essa diferença deve-se essencialmente dois factores: comprimentos de onda mais longos; geometria de observação inclinada.

No caso dos sistemas RADAR as principais características da superfície que afectam as imagens são os seguintes.

- Rugosidade;
- Condutividade e teor de humidade no solo;
- Teor de humidade da vegetação, estrutura das copas e quantidade de biomassa;
- Características geométricas da superfície.



## Efeito da rugosidade da superfície em imagens RADAR



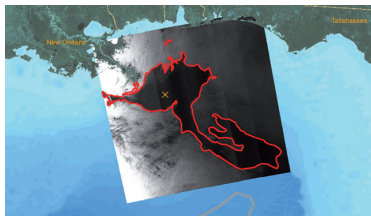
**Figura 27 – Mecanismos de Retroreflexão**

**Figura:** Em função da rugosidade do material à superfície e da geometria de observação, a intensidade do sinal detectado pelo sensor varia. A superfície “suave” é que será mais escura na imagem, e a superfície artificial vertical na direcção perpendicular à direcção de observação será a mais escura.

## Efeito da rugosidade da superfície em imagens RADAR (cont.)

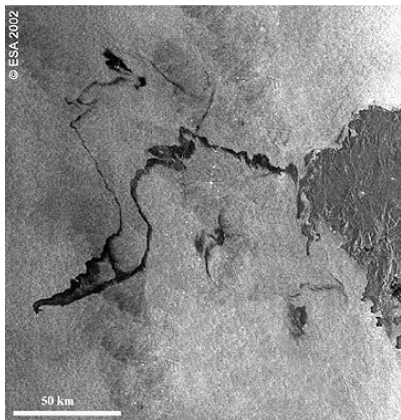
Uma superfície é *rugosa* numa certa região espectral se a dimensão das partículas da superfície é maior do que o comprimento de onda da radiação que a atinge. Uma zona pouco rugosa é “escura” numa imagem RADAR.

Um exemplo conhecido da utilização dessa característica das imagens RADAR é a monitorização de derrames de petróleo em oceanos.



**Figura:** Imagem Envisat do Golfo do México para monitorização da evolução da mancha de petróleo resultante do derrame de petróleo causado pela explosão na plataforma *Deepwater Horizon* em 20 de Abril de 2010. Como a mancha de petróleo é mais “lisa” do que a água, a zona afectada aparece mais escura na imagem. <http://www.astrium.eads.net/>, 23.04.2012.

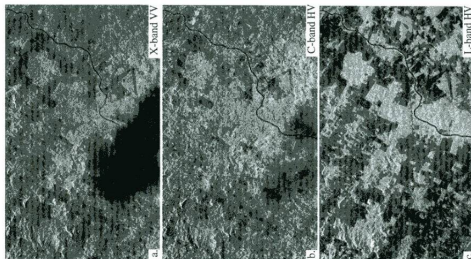
## Efeito da rugosidade da superfície em imagens RADAR (outro exemplo)



**Figura:** Imagem Envisat da costa da Galiza em Novembro de 2002 para monitorizar a evolução da mancha de petróleo derramada pelo navio Prestige. Como a mancha de petróleo é mais “lisa” do que a água, a zona afectada aparece mais escura na imagem.

## Nuvens e precipitação em imagens RADAR

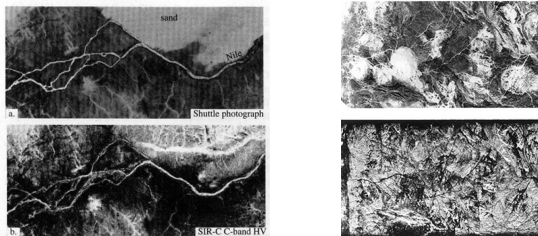
As nuvens e a precipitação são permeáveis à radiação de muito longo comprimento de onda dado que as partículas que constituem o vapor de água e as gotículas de precipitação têm dimensões menores do que algumas gamas de comprimento de onda usadas em sistemas de RADAR. Assim, é possível observar a superfície através das nuvens.



**Figura:** Imagens simultâneas na região amazônica. O comprimento de onda cresce da esquerda para a direita e a polarização varia. Na imagem da esquerda (banda X, menor c.d.o.) nota-se claramente a presença de uma nuvem e de precipitação que não é visível na imagem da direita (banda L, maior c.d.o.).

## Estrutura do solo em imagens RADAR

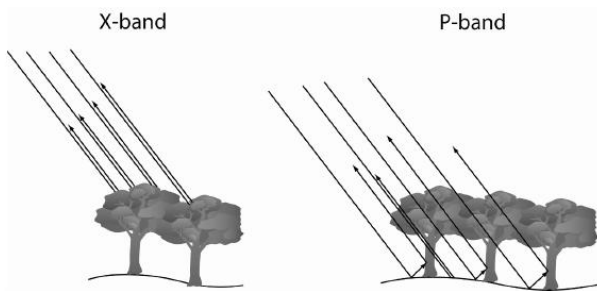
A radiação de longo c.d.o. penetra nas camadas superficiais de solo e ao interagir com essas camadas revela características que não são visíveis à superfície em imagens de detectores ópticos.



**Figura:** À esquerda, uma imagem de uma região junto ao rio Nilo. A imagem superior é uma fotografia tirada do espaço e a imagem inferior é uma imagem radar que revela a marca do leito abandonado do rio Nilo. Do lado direito, está outro par de imagens obtidas simultaneamente sobre uma zona do Egito: a imagem superior é uma imagem Landsat (onde são visíveis nuvens) e a imagem inferior é uma imagem SIR-A radar onde é visível a estrutura das camadas superiores da superfície.

## Efeito de *superfície* e efeito de *volume* em imagens RADAR

A reflexão das copas tem duas componentes: **reflexão de superfície** e **reflexão de volume**. Quando maior o comprimento de onda do impulso radar, maior é a penetração da radiação nas copas e maior é o efeito de volume.



**Figura:** Radiação de maior comprimento de onda penetra mais nas copas. As características do coberto de que depende o sinal variam com o comprimento de onda: na figura à esquerda o sinal é afectado pela maior parte da copa enquanto que na figura à direita apenas a parte superficial das copas contribui para o sinal adquirido pelo sensor.

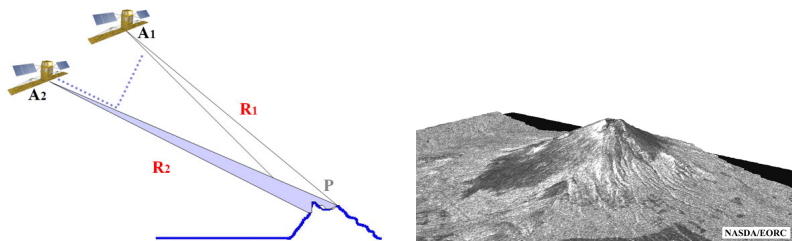
## Principais características distintivas de imagens RADAR

- A **interacção da radiação com as nuvens ou precipitação é reduzida**, sobretudo para bandas de maior comprimento de onda;
- A informação fornecida por imagens de radar é distinta da informação obtida na gamas de comprimento de onda do visível, infravermelho e térmico. Enquanto a reflectância no visível e infravermelho está relacionada com as propriedades moleculares dos objectos, as imagens de radar dependem de **características macroscópicas da superfície**: rugosidade orientação, e volume (por exemplo, das copas);
- As imagens RADAR são obtidas para **quaisquer condições meteorológicas, de dia ou de noite, e independentemente das condições de iluminação**;
- Essas características fazem com que as imagens de radar sejam de grande utilidade para a monitorização da superfície em **áreas com grande nebulosidade** como as regiões temperadas e as regiões equatoriais.

## Altímetros RADAR e interferometria

Outra área importante de aplicação de RADAR é a medição da altimetria à escala global.

A técnica usada para obtenção dessa informação é designada por *interferometria radar* (InSAR ou IfSAR) e baseia-se numa aquisição simultâneas de imagens RADAR por dois receptores.



**Figura:** São necessários dois sinais simultâneos de RADAR para obter uma medição precisa da diferença entre as distâncias  $R_1$  e  $R_2$  por forma a poder derivar a elevação do ponto P. Na figura da direita está representado o modelo digital de elevações resultante: os erros podem ser inferiores a 1m.  
<http://mundogeo.com/> e <http://www.eorc.jaxa.jp/>, 23.04.2012.



## Modelos digitais de elevações globais obtidos por RADAR

- **SRTM** (2000). A missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) foi realizada através de um *shuttle* transportando duas antenas. O modelo digital de superfície resultante tem resolução espacial 1 arco-segundo (ver Slide 154).
- **ASTER-GDEM** versão 1 (2009) e versão 2 (2011). Embora a resolução espacial nominal do modelo digital de elevações ASTER seja de 30m a resolução real é considerada semelhante à do modelo SRTM.
- **ACE2** (EAPRS/ESA): combina o modelo digital da superfície SRTM com outras medições de altímetros para originar um modelo digital de elevações (removendo o efeito das copas das árvores no SRTM).
- **GMTED2010** (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010): produto de resolução entre aproximadamente 250m e 1000m.

## Algumas áreas de aplicações de imagens radar

- Altimetria e topografia;
- Agricultura: monitorização de culturas, estimativas de produção;
- Floresta: quantidade de biomassa, incêndios;
- Controlo de tráfego marítimo e de poluição marítima (exemplo: marés negras);
- Aplicações militares: reconhecimento, vigilância
- Produção de cartas temáticas: geológicas, uso do solo;
- Cartografia de zonas húmidas;
- Gelos nos oceanos: detecção de icebergs, monitorização das superfícies geladas.

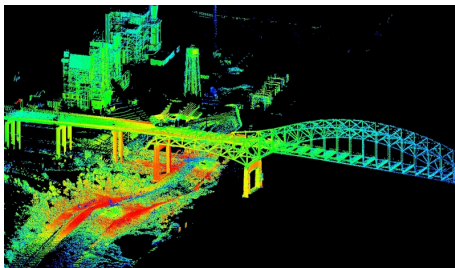
O LIDAR (*Light Detection and Ranging*) é tecnologia semelhante ao RADAR com duas diferenças principais:

- O LIDAR usa radiação da região do visível ou do infravermelho próximo em vez de radiação das gamas do RADAR que correspondem a maiores comprimentos de onda. Por isso o LIDAR consegue detectar **objectos de menor dimensão** (incluindo partículas atmosféricas e aerossóis) do que os objectos detectados por RADAR. Em contrapartida, os sistemas de LIDAR **apenas podem operar abaixo das nuvens ou em condições de céu limpo**, podendo — como os sistemas RADAR— obter informação de dia ou de noite.
- O LIDAR observa a superfície essencialmente na vertical ao contrário da observação oblíqua dos sistemas de RADAR, o que permite **uma melhor penetração do sinal através do coberto do solo**.

## Altímetros LIDAR

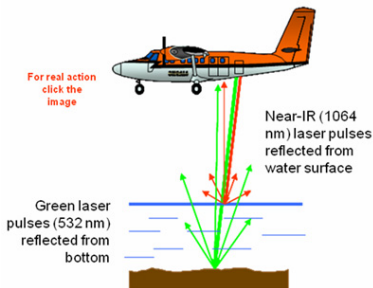
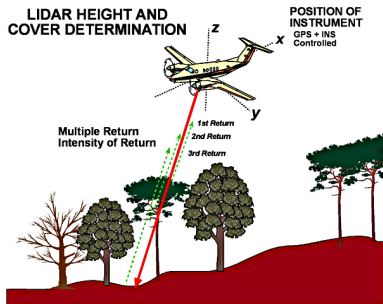
Tal como o RADAR, o LIDAR mede o intervalo de tempo entre a transmissão de um impulso e a detecção do sinal reflectido pela superfície.

O tecnologia LIDAR permite a obtenção de uma grande quantidade de informação sobre a localização 3D de materiais à superfície.

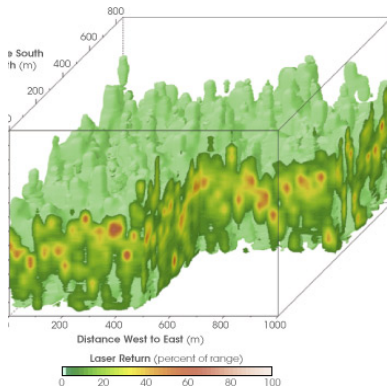


# Altímetros LIDAR

A tecnologia LIDAR permite obter medições de distâncias para diversos níveis de profundidade no coberto, permitindo assim a elaboração de **perfis verticais**.



## Aplicação de imagens LIDAR em cobertos naturais

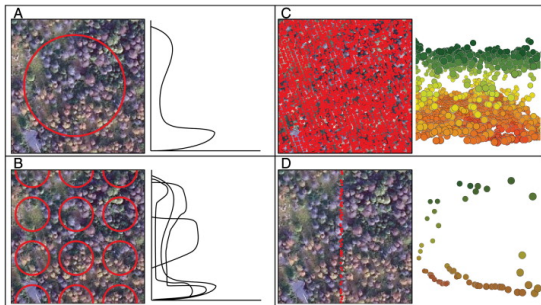


**Figura:** Estrutura de floresta tropical (Costa Rica) determinada a partir de imagens LIDAR. A quantidade de sinal refletido para cada elevação é proporcional à densidade do copado e sub-copado.

<http://earthobservatory.nasa.gov/>, 15.05.2012.

## Resolução e resposta de altímetros LIDAR

Dependendo da altura da plataforma e da tecnologia usada, a resolução de sensores LIDAR varia. A resposta pode ser um sinal contínuo (distribuição de distâncias) ou um sinal discreto (nuvem de pontos).



**Figura:** Várias observações LIDAR sobre uma zona florestal. (A) e (B) têm uma resolução de 60m e 20m e uma resposta contínua (perfil de vegetação); (C) e (D) têm menor resolução espacial e uma resposta discreta que consiste numa nuvem de pontos de coordenadas (x,y,z). RSE 121 (2012) 196–209

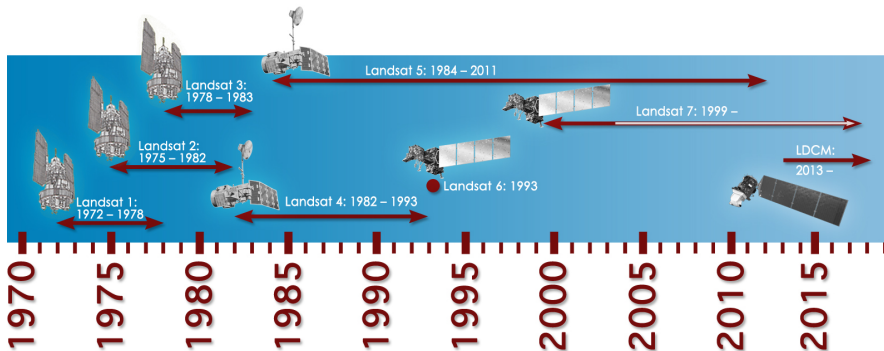
Introdução à detecção remota:  
Acesso a dados de detecção remota



## Acesso a dados de satélite

Existem diversos sites onde podem ser descarregados dados de satélite disponíveis para a comunidade.

Para além de dados recentes, estão disponíveis séries temporais já bastantes longas (desde 1979 para AVHRR, desde 1972 para Landsat-MSS, e desde 1982 para Landsat-TM) que permitem estudos de alterações da superfície nas últimas 4 décadas.



Hoje em dia estão disponíveis muitos tipos de produtos de detecção remota, com níveis de processamento diversos. Os dados para os utilizadores finais estão em geral corrigidos

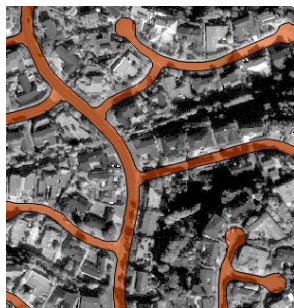
- **geometricamente**, isto é estão ortorrectificados o que significa que estão projectados sobre a superfície por técnicas que minimizam as distorções geométricas;
- **radiometricamente**, isto é estão calibrados e corrigidos quanto aos efeitos da atmosfera.

## Ilustração do efeito da ortorrectificação

Esta imagem com resolução espacial de 1m representa um terreno com variação de altitude da ordem de 60 m. Em colorido representa-se a localização correcta da rede viária. Dados não ortorrectificados não podem ser em geral combinados com outras fontes de informação.



**Figura:** Imagem georreferenciada mas não ortorrectificada.

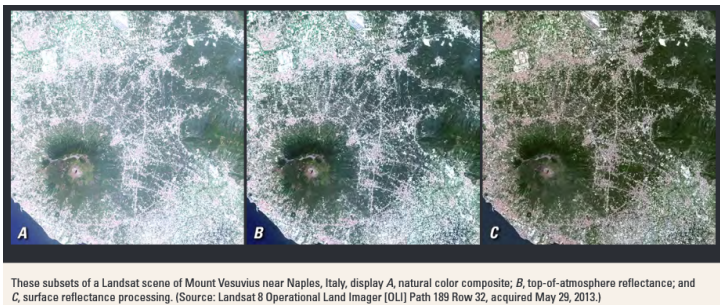


**Figura:** Imagem georreferenciada e ortorrectificada.

## Ilustração de correcções radiométricas

A figura abaixo representa uma composição colorida em cor verdadeira para

- 1 números digitais da imagem (esquerda);
- 2 valores de reflectância "no topo da atmosfera" (centro) ;
- 3 valores de reflectância à superfície (direita), em que o efeito da atmosfera é reduzido.



Fonte: <http://pubs.usgs.gov/fs/2015/3034/> (22/5/2015).

Os sites <https://ipsentinel.ipma.pt/> e <https://scihub.copernicus.eu/dhus/> (ESA) permitem aceder a dados Sentinel:

- 1 Sentinel 1 (RADAR),
- 2 Sentinel 2 (óptico, 10-20 m, resolução temporal de 5 dias) e
- 3 Sentinel 3 (óptico, 300m e 500 m, dados diários);

A ESA disponibiliza uma aplicação `sen2cor` para correcção radiométrica das imagens Sentinel 2 (conversão para reflectância à superfície) e a aplicação **Sentinel Application Platform** (SNAP) que facilita a obtenção e manipulação de dados Sentinel.

## Acesso a dados de satélite: dados NASA e USGS

O site <http://earthexplorer.usgs.gov/> (U.S.Geological Survey) permite o acesso a imagens de

- valores no sensor,
- reflectância no “topo da atmosfera”, e
- reflectância e outras grandezas físicas à superfície

para os sensores

- Landsat 5, 7, e 8;
- MODIS e VIIRS.

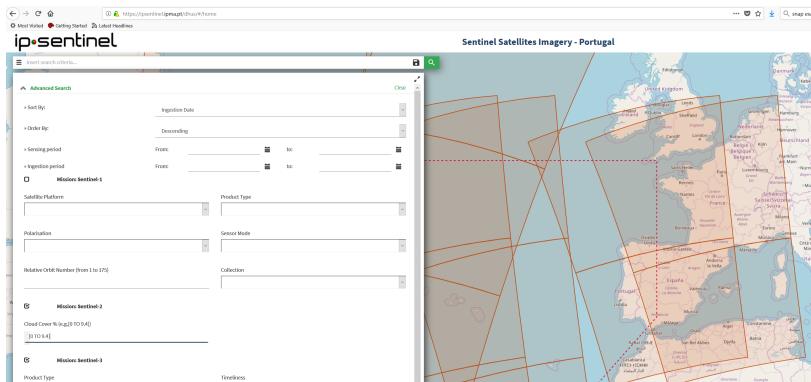
Disponibiliza também dados de altimetria (ver Slide 275) entre outros produtos.

O site <https://search.earthdata.nasa.gov/> (EarthData) permite a acesso a dados da NASA, e distribui produtos semelhantes aos anteriores e outros dados e produtos desenvolvidos pela NASA.

## Acesso a dados de satélite: interface IP-sentinel

No site basta indicar a região de interesse, as datas e o tipo de produto (satélite, sensor) para poder requisitar as imagens e fazer a transferência.

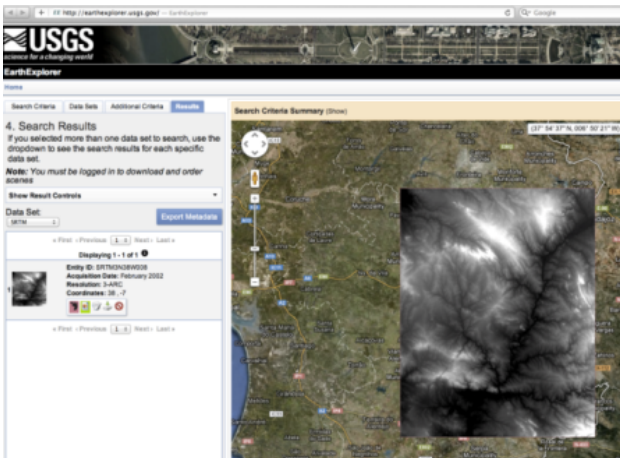
Por exemplo, a interface para obter dados Sentinel em <https://ipsentinel.ipma.pt/dhus/> é a seguinte:



## Acesso a dados de satélite: dados de altimetria

Vários sites disponibilizam dados globais de altimetria. Por exemplo, a interface para obter dados SRTM em

<http://earthexplorer.usgs.gov/> é a seguinte:





## Alguns produtos de satélite incorporando correcções radiométricas

Diversos produtores de imagens de satélite disponibilizam produtos pré-processados. As correcções são realizadas com informação de múltiplas bandas dos sensores e os resultados são validados.

Por exemplo, são derivados dos sensores MODIS os seguintes produtos:

- **reflectâncias à superfície** (resoluções nominais de 250m, 500m, 1000m, 5600m);
- **albedo e reflectância corrigida para o efeito do BRDF** (resoluções de 500m a 5600m).
- **temperatura da superfície e emissividade** (resoluções de 1000 a 5600m);
- **índices de vegetação** (resoluções de 250m a 5600 m);
- **índice de área foliar** (resolução de 1000m);

Introdução à detecção remota:  
representação e interpretação de imagens multiespectrais

## Composição colorida de imagens multiespectrais

No Slide 119 foi descrito como se pode combinar três imagens distintas para criar uma composição colorida. Essa é uma forma comum de apresentar imagens multiespectrais pois permite **combinar a informação de várias bandas espectrais numa única imagem**.

- Diz-se que a composição é em **cor verdadeira** quando os canais da composição colorida correspondem às regiões espectrais da radiação visível respectivamente do vermelho, verde e azul. Exemplo: uma composição RGB=321 para o sensor Landsat 5 TM.
- Diz-se que a composição é em **falsa cor** caso contrário. As composições coloridas em falsa cor podem representar informação espectral do infravermelho. Exemplos: composições RGB=432 ou RGB=742 do sensor Landsat 5 TM.

## Interpretação de uma composição colorida em falsa cor

Na composição RGB=(IVP,Vermelho,Verde), as cores obtidas tem em geral a seguinte interpretação: **vermelho-magenta** – vegetação vigorosa; **rosa** – vegetação mais esparsa ou com menor vigor vegetativo; **branco** – areia, solo descoberto, pedreiras; **azul escuro ou negro** – água ou estradas recentemente alcatroadas; **cinzento e azul metálico** – zonas urbanas; **castanho** – pastagens pobres e matos esparsos; **bege** – zonas de transição.

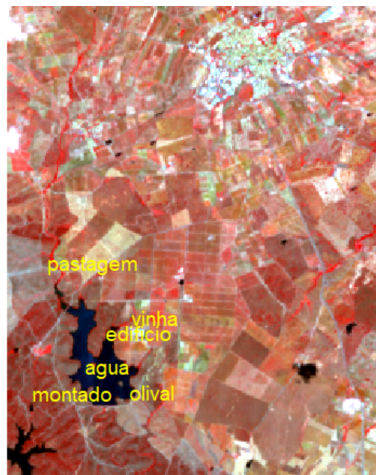


**Figura:** Composição colorida RGB=432 derivada de imagens de reflectância para as bandas do sensor Landsat 5 TM. Reguengos de Monsaraz, 20/05/2010.

## Interpretação de uma composição colorida em falsa cor (cont)

A composição colorida é indicada pelo código RGB= $b_1b_2b_3$  em que  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  indicam as bandas do sensor capta as imagens. As bandas “verde”, “vermelho” e IVP são respectivamente as bandas 2, 3 e 4 no sensor Landsat 5 TM e as bandas 3, 4, e 5 no sensor L8 OLI.

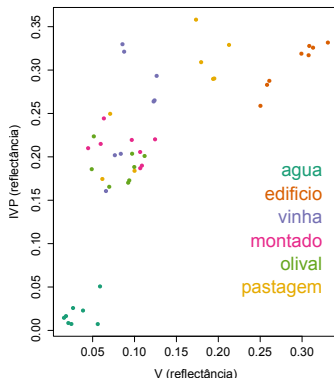
No exemplo anterior, a composição em falsa cor do exemplo anterior tem código RGB=432 (Landsat 5 TM), mas a composição colorida à direita, também em falsa cor e que usa as mesmas regiões espectrais, tem código RGB=543 (Landsat 8 OLI) pois as bandas do sensor têm “nomes” diferentes.



## Representação dos pixels no espaço espectral das bandas do vermelho e do infravermelho próximo

A generalidade dos satélites de observação da terra adquirem informação espectral nas regiões do **vermelho** (aproximadamente  $0.6 - 0.7 \mu\text{m}$ ) e na região do **infravermelho próximo** (aproximadamente  $0.7 - 1.3 \mu\text{m}$ ) pois essas duas bandas fornecem muito informação sobre as materiais que ocorrem à superfície.

Representação das assinaturas espectrais de um conjunto de pixels correspondentes a diferentes ocupações do solo no plano V/IVP. Reguengos de Monsaraz, dados Landsat 8 CDR.

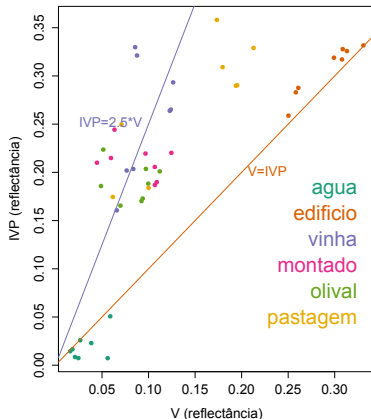


## Índices de vegetação

No plano V/IVP podemos considerar as direcções radiais definidas pela relação  $IVP = c \times V$  que correspondem por isso a razões constantes entre as reflectâncias nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo. A razão V/IVP designa-se por **índice de vegetação**.

As rectas indicam valores constantes da razão V/IVP. Note-se que raramente se verifica  $IVP < V$ .

Alguns autores sugerem que  $IVP > 3 \times V$  corresponde a um “coberto vegetal denso”.



## O índice NDVI (*normalized difference vegetation index*)

Este índice é de utilização generalizada e é definido por

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IVP} - V}{\text{IVP} + V},$$

em que IVP e V são, respectivamente, as reflectâncias na região do infravermelho próximo e do vermelho.

Propriedades do índice NDVI:

- Se  $\text{NDVI} = k$  então  $\text{IVP} = \frac{-k-1}{k-1} V$  (a curva de nível é radial no plano V/IVP);
- NDVI toma sempre um valor entre  $-1$  e  $1$ , (embora, na generalidade dos cobertos, os valores estejam entre  $0$  e  $1$ );
- O valor de NDVI é muito instável quando  $V + \text{IVP}$  está próximo de  $0$  (NDVI não está definido quando  $V = \text{IVP} = 0$ );
- Se se multiplicar V e IVP pela mesma constante, NDVI não é alterado.



## Exercício

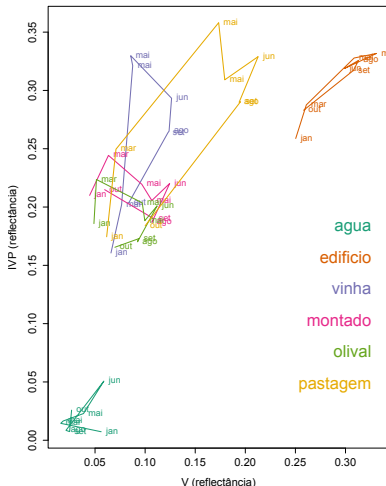
As assinaturas espectrais  $a = (.15, .16, .20, .25, .23, .25)$ ,  $b = (.08, .12, .10, .32, .25, .22)$  correspondem às reflectâncias nas bandas 1, 2, 3 (visível), 4 (IVP), e 5 e 7 (infravermelho médio) de dois pixels de uma imagem Landsat TM do final do verão de uma região onde existe pinhal, matos esparsos e culturas anuais de sequeiro.

- 1 Qual das assinaturas espectrais deverá corresponder a uma parcela de terreno coberta pela cultura anual de sequeiro e qual deverá corresponder a uma parcela de pinhal? Justifique.
- 2 Suponha que constrói uma composição colorida em falsa cor (RGB=742) da imagem. Qual das assinaturas espectrais terá uma cor mais verde na composição colorida? Justifique.
- 3 Determine os valores do índice de vegetação NDVI para as assinaturas  $a$  e  $b$ .

## Evolução do padrão V/IVP ao longo do tempo

Os dados de satélite têm em geral uma boa resolução temporal. Por isso, é possível essas imagens para monitorizar a evolução de culturas ao longo do ciclo vegetativo.

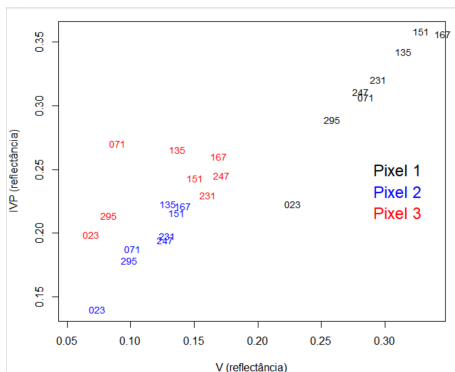
Evolução das assinaturas espectrais ao longo de um ano para 6 pixels com diferente ocupação.



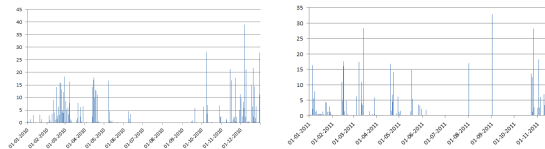
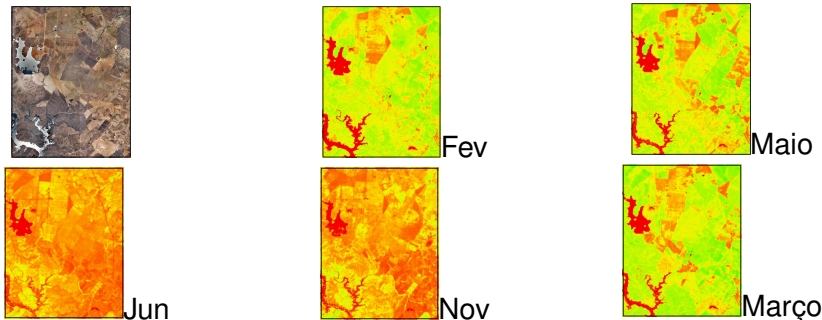
## Exercício

O seguinte gráfico representa o sinal no Alentejo de três pixels de uma imagem de reflectância de superfície Landsat 8 multiespectral (ver Slide 305) ao longo de 2014. Os números representam o dia juliano (a partir de 1 de janeiro de 2014) em que foram obtidas as observações.

- 1 Indique uma justificação para o facto das observações dos vários pixels terem dispersões distintas;
- 2 Associe cada cor (i.e. cada pixel) a uma das seguintes ocupações do solo: edifício, pastagem e olival.



# Ilustração da evolução do NDVI ao longo do ano: Reguengos de Monsaraz, de Fevereiro de 2010 a Março de 2011

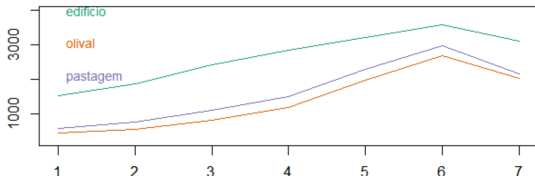
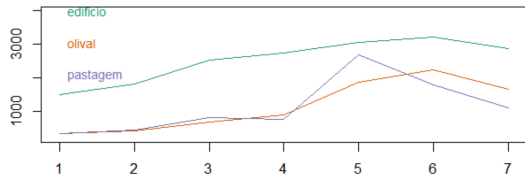


Vermelho representa  $NDVI=0$  e verde indica valores de NDVI próximos de 1. O gráfico de barras indica a precipitação na região.

## Exercício

O seguinte gráfico representa assinaturas espectrais em três locais no Alentejo numa imagem de reflectância de superfície Landsat 8 multiespectral com 7 bandas, em que a banda 5 corresponde ao IVP, (ver Slide 305).

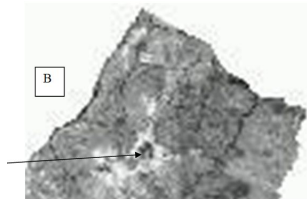
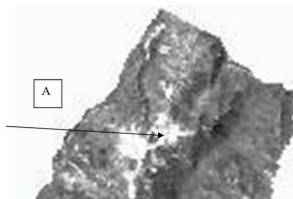
Associe cada uma das imagens a uma data, sendo uma das imagens do início de março e outra de meados de agosto.



## Exercício

A imagem A abaixo representa os valores de radiância no IVP para uma região montanhosa em Portugal (no verão). A imagem B representa a razão  $\frac{IVP-V}{IVP+V}$  em que V e IVP são radiâncias das bandas respectivas para a mesma região.

- 1 Que tipo de ocupação do solo poderá ocorrer na região assinalada nas imagens (com valores elevados em A e valores baixos em B)? Justifique.
- 2 Na imagem B o efeito do relevo é mais atenuado do que na imagem A. Como explica esse facto?



## Exercício

O seguintes quadros descrevem algumas características de dois sensores a bordo do satélite Landsat 8 (Landsat Data Continuity Mission) lançado em 2013. A coluna “swath width” indica a largura da imagem captada ao longo do órbita do satélite.

| Band                           | Wavelength (μm) | Bandwidth (μm) | Resolution (m) | Swath width (km) | Revisit time (days) |
|--------------------------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|---------------------|
| Band 1 Coastal/Aerosol (Other) | 0.43 to 0.45    |                | 30             | 185              |                     |
| Band 2 Blue (VIS)              | 0.45 to 0.51    |                | 30             | 185              |                     |
| Band 3 Green (VIS)             | 0.53 to 0.59    |                | 30             | 185              |                     |
| Band 4 Red (VIS)               | 0.64 to 0.67    |                | 30             | 185              |                     |
| Band 5 Near Infrared (NIR)     | 0.85 to 0.88    |                | 30             | 185              |                     |
| Band 6 SWIR 1 (SWIR)           | 1.57 to 1.65    |                | 30             | 185              |                     |
| Band 7 SWIR 2 (SWIR)           | 2.11 to 2.29    |                | 30             | 185              |                     |
| Band 8 Panchromatic (Other)    | 0.5 to 0.68     |                | 15             | 185              |                     |
| Band 9 Cirrus (Other)          | 1.36 to 1.38    |                | 30             | 185              |                     |

| Band                | Wavelength (μm) | Bandwidth (μm) | Resolution (m) | Swath width (km) | Revisit time (days) |
|---------------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|---------------------|
| Band 10 TIR 1 (TIR) | 10.6 to 11.19   |                | 100            | 185              |                     |
| Band 11 TIR 2 (TIR) | 11.5 to 12.51   |                | 100            | 185              |                     |

## Exercício (cont.)

- Descreva de forma completa, referindo-se às tabelas, a resolução espectral de cada um dos sensores. A qual dos dois sensores corresponde o termo “detector óptico”?
- Indique, justificando, que bandas do sensor deveria usar se o objectivo da análise dos dados sobre uma determinada área rural fosse: (1) Construir, por digitalização sobre a imagem, um cdg com a localização de edifícios; (2) Monitorizar a temperatura do solo.



## Exercício (cont.)

- Considere uma região com ocupação do solo que pode ser eucaliptal ou então zonas de solo descoberto. Suponha que as assinaturas espectrais de dois pixels da imagem para as bandas 3, 4, 5, 6, e 7 (por essa ordem) são  $A=(0.16,0.20,0.26,0.26,0.27)$  e  $B=(0.13,0.12,0.33,0.25,0.22)$ . Determine o índice de vegetação NDVI para cada um dos pixels e indique o tipo de ocupação do solo que deverá corresponder a cada um deles.
- Sabendo que a altitude do satélite é de 705 km, determine o campo de visão (FOV) e o campo de visão instantâneo (IFOV) para a banda 8 do sensor. Qual é dimensão aproximada no terreno correspondente um pixel da margem da largura da imagem na banda 8? (considere para a aproximação pretendida que a superfície da Terra é plana). Justifique as suas respostas com os cálculos necessários e indique as unidades.

## Exercício

As seguintes imagens correspondem à razão  $\frac{IVP-V}{IVP+V}$ . Numa das imagens, IVP e V correspondem a **radiâncias** nas bandas originais do sensor e na outra correspondem a **reflectâncias**. As zonas mais vermelhas na imagem são zonas inundadas e as zonas verdes/azuladas correspondem a coberturas vegetais mais densas. Indique duas características das imagens que justifiquem que a imagem da esquerda seja a de *reflectância da superfície*.

