Curso de Análise de Dados com R
ISA, fevereiro de 2018

Análise de dados geográficos: dados *raster*

Manuel Campagnolo

Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa

Dados geográficos, ambiente R e aplicações SIG

Processar informação geográfica em ambiente R

O objectivo desta parte do curso é mostrar como se podem manipular dados geográficos em R. Em particular, ler, combinar (com eventual alteração do sistema de coordenadas), analisar, manipular, criar e exportar conjuntos de dados geográficos de tipo:

1. matricial ("raster"), e.g. formato **geotiff**;
2. vectorial, e.g. formato **shapefile**.

Links sugeridos:

1. The Comprehensive R Archive Network's task view "Analysis of Spatial Data", by Roger Bivand
2. Edzer Pebesma and Roger Bivand, Classes and methods for spatial data in R, *R news*, 5/2 (2005) 9–14
3. Robert J. Hijmans, Introduction to the raster package, 2014
4. Edzer Pebesma, Spatial Data in R: New Directions, 2017

Referência:

1. Roger S. Bivand, Edzer Pebesma, Virgilio Gomez-Rubio, 2013. *Applied spatial data analysis with R*, 2nd edition. Springer, NY. www.asdar-book.org/

Dados geográficos

As funções base do R permitem ler, visualizar e analisar dados. Neste módulo, o interesse é em dados geográficos, isto é, observações associadas a localizações geográficas.

Dados geográficos têm então duas componentes:

- A localização das observações, que é definida num certo CRS: sistema de coordenadas (geográficas ou cartográficas);
- Os valores associados a essas observações que podem ser representados por variáveis contínuas (e.g. temperatura, precipitação, elevação, índice de área foliar, área, etc) ou categoriais (e.g. nome de freguesia, tipo de ocupação do solo, tipo de solo, tipo de estrada, estado operacional de uma estação meteorológica, etc)

Deve usar-se a estrutura de dados (*e.g.raster* ou *vectorial*) mais adequada para os dados. Tipicamente, trabalha-se com vários conjuntos de dados, cada qual com a sua estrutura. Para além disso, é habitual usar conjunto de dados definidos em CRS diferentes.

Packages R para dados geográficos

Existem muitos *packages* disponíveis em R para dados geográficos (ver The Comprehensive R Archive Network's task view "Analysis of Spatial Data", by Roger Bivand para uma descrição actualizada do conjunto de packages disponíveis).

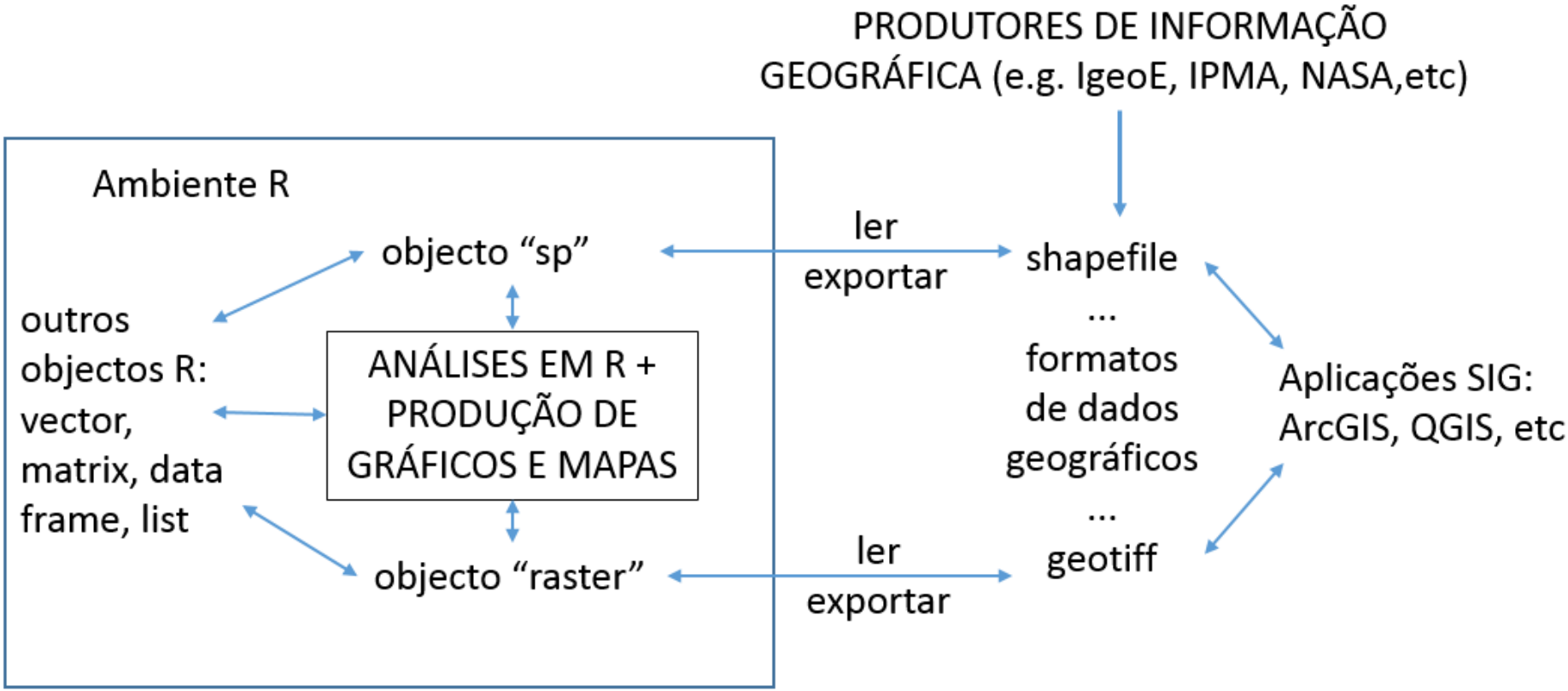
Essencialmente, os *packages* auxiliam o utilizador a:

1. importar para ambiente R dados geográficos e exportar dados geográficos que resultam da análise feita em R;
2. analisar dados geográficos em R.

Neste modulo, os principais packages são `raster`, `rgdal`, `sp` e `rgeos`. estes packages permitem ler e escrever diversos tipos de dados, e processar dados geográficos em R.

```
1 library(raster) # dados matriciais (raster)
2 library(sp) # dados vectoriais: ponto, linha, polígono
3 library(rgdal) # importar/exportar conjuntos de dados
4 library(rgeos) # análise espacial de dados geográficos
```

Relação entre dados geográficos, ambiente R e aplicações SIG



Por exemplo, uma imagem Landsat é descarregada do site `usgs.gov` em formato GeoTIFF. Pode ser lida em ambiente R através do comando `landsat<-raster(nomeFicheiro)` que devolve um objecto "raster". É legítmo fazer então `coordinates(landsat)`.

Estruturas para dados geográficos matriciais (*raster*) em R: o package `raster`

Dados matriciais: leitura e escrita

A leitura de dados do tipo matricial pode ser feita com as funções (`package::funcao` indica que `funcao` pertence a `package`) :

1. `raster::raster`; esta função converte dados matriciais (no ambiente R ou fora do ambiente R, i.e. num ficheiro) num objecto `RasterLayer`;
2. `rgdal::readGDAL`; Esta função permite ler ficheiros de dados matriciais e tipicamente devolve um objecto `SpatialGridDataFrame`; `GDALinfo` devolve os parâmetros do conjunto de dados.

A escrita de dados pode ser feita com

1. `raster::writeRaster`;
2. `rgdal::writeGDAL`;

Nota: `raster` é tipicamente mais eficiente do que `readGDAL` para a leitura de conjuntos de dados de grande dimensão.

Formatos para dados 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.

Existem muitos formatos de dados matriciais que são produzidos por diferentes softwares e por diferentes produtores de informação. Os packages de R podem ler todos os formatos habituais.

Muitos formatos suportam imagens com várias camadas como, por exemplo, imagens multiespectrais.

Correntemente o formato mais divulgado (que se tornou quase 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).

Imagens, células 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, ...)

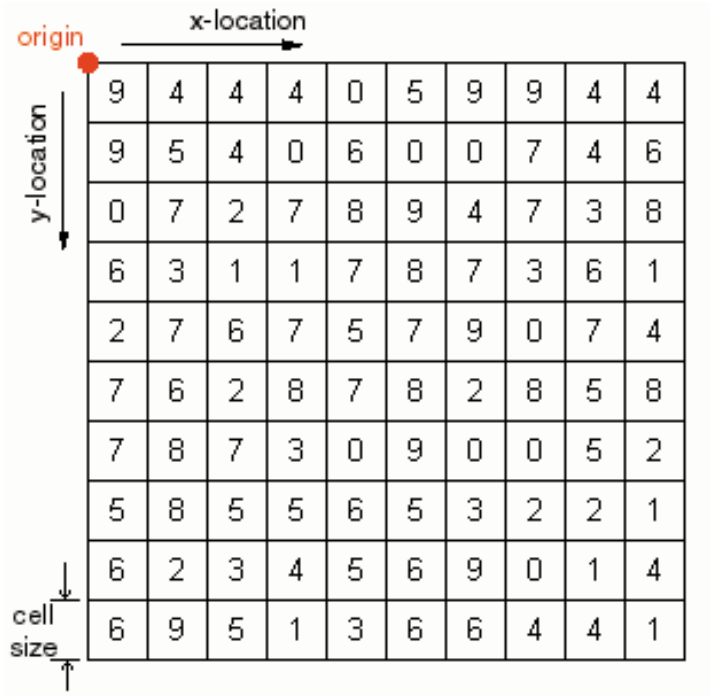


Figure: Ilustração da estrutura de dados raster. No caso mais simples a georreferenciação é definida pelas coordenadas de um canto da imagem e pelo tamanho da célula (resolução espacial).

Dados geográficos do tipo raster: o formato GeoTIFF

O formato GeoTIFF é o formato TIFF com geolocation tags. A georreferenciação é definida por:

1. Raster space R ou *image space*, usado para definir as coordenadas das células da imagem. O localização (0,0) corresponde ao canto superior esquerdo e está associada ao centro ou ao canto de uma célula de referência. A imagem tem um determinado número de linhas e de colunas.
2. Model space M, é usado para georreferenciar os dados; está associado a um sistema de coordenadas de referência (CRS);
3. Transformação entre R e M, que pode ser definida de várias formas, como apenas as coordenadas do canto (0,0), ou uma transformação linear da grelha, ou um conjunto de pontos de controlo, ou coeficientes racionais-polinomiais que permitem fazer a ortorectificação da imagem.

Designa-se resolução da imagem o tamanho de uma célula após a transformação. O domínio da imagem data type pode ser inteiro, *float* e tem um determinado tamanho (em bits).

For details see `http://trac.osgeo.org/geotiff/`

Dados matriciais: leitura e escrita com package `raster`:

Primeiro conjunto de dados: imagem pancromática Landsat 8.

1. Copiar dados para a pasta de trabalho e abrir o script que contém os comandos R.
2. Executar os comandos:

```
setwd("...\\dados_curso"))
# carregar package:
library(raster)
library(rgdal)
# ler ficheiro:
pan <- raster("landsat8pan.tif")
cores<-gray(seq(0,1,length.out
    =100))
plot(pan, xaxt="n", yaxt="n", box
    =FALSE, axes=FALSE, col=cores,
    horizontal=TRUE)
```

Dados matriciais: leitura e escrita com package `raster`:

O objecto `pan` é um objecto R de classe `RasterLayer`:

```
pan # descreve o conjunto de dados
slotNames(pan) # devolve os nomes de slots
pan@crs # devolve o sistema de coordenadas  em formato proj.4
    que é +proj=utm +zone=29 +datum=WGS84 +units=m +no_defs +
    ellps=WGS84 +towgs84=0,0,0
# exportar para ficheiro GeoTIFF
writeRaster(pan, file="out.tif",format="GTiff",  overwrite=TRUE
    )
```

Nota. O package `raster` define várias classes de objectos (`RasterLayer`, `Extent`, ...). Cada classe contém *slots* que servem a armazenar informação da classe. O acesso a *slots* faz-se com `@` (e.g. `pan@crs`) ou com a função `slot`.

Nota: as opções de plot para objectos `raster` são listadas com `?raster::plot`.

Análise de dados com package `raster`: valores das células

Os valores das células de um objecto `RasterLayer` podem ser lidos para o ambiente R com a função `values`:

```
1 v<-values(pan) # vector numérico
```

Os valores mínimo e máximo dos pixels podem ser obtidos com

```
1 range(v)
```

Nota: os slots `@data@min` e `@data@max` devolvem esses mesmos valores:

```
1 pan@data@min
2 pan@data@max
```

Nota: a leitura de cdg matriciais com `raster` não coloca a totalidade dos dados na sessão R por uma questão de eficiência; a função `values` lê os valores no ficheiro "landsat8pan.tif" e guarda-os em memória na sessão, o que é mais pesado computacionalmente.

Análise de dados com package `raster`: valores das células

A imagem obtida com `plot(pan)` usa uma paleta de cores por omissão. Como é habitual com imagens pancromáticas, foram usados tons de cinzento. Foi também eliminada a caixa e os eixos em volta da figura. Essas modificações foram obtidas com os seguintes comandos:

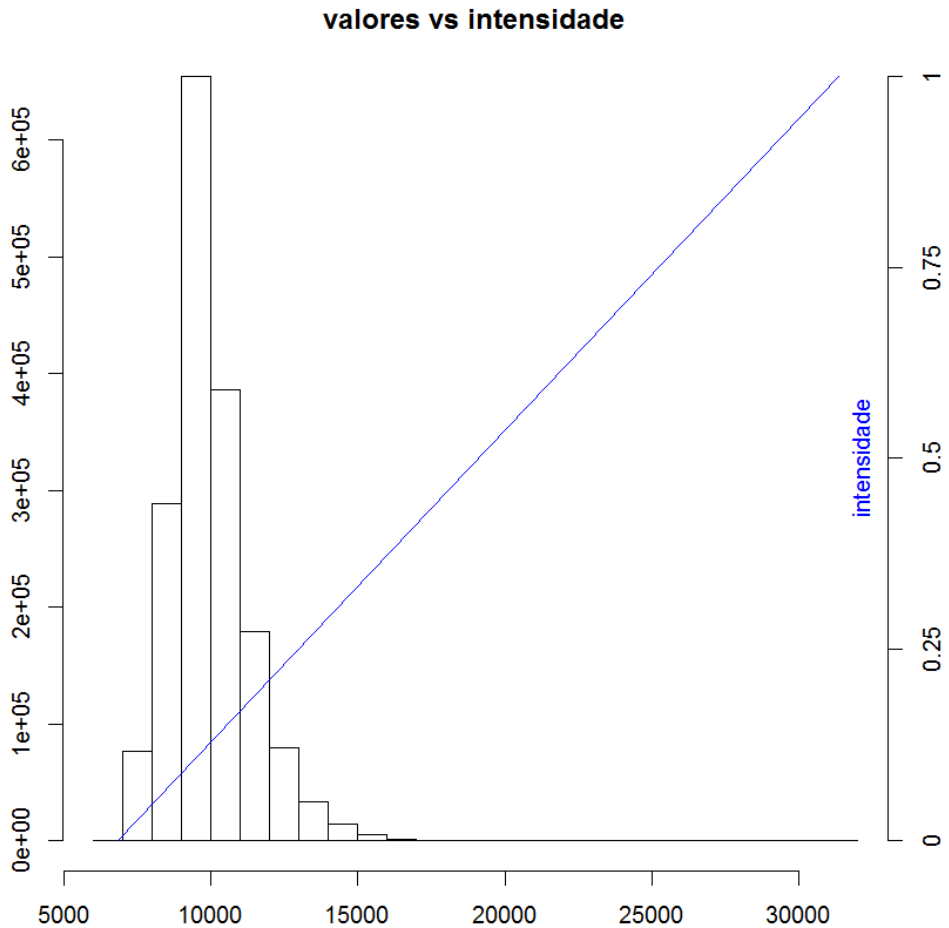
```
# criar vector de 100 tons de cinzento entre preto (0) e branco (1)
cores<-gray(seq(0,1,length.out=100)) # vector de cores
plot(pan,col=cores) # usa o vector cores (100 tons de cinzento) para a gama de valores de pan
# tirar caixa e colocar a legenda na horizontal
plot(pan, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE, col=cores,horizontal=TRUE)
```

A imagem está escura dado que `plot` transforma linearmente os valores das células, sendo o valor mínimo representado a preto e o valor máximo representado a branco, e todos os valores intermédios em tons de cinzento. Assim, se a distribuição dos valores tiver uma "cauda" para valores baixos ou elevados, o contraste será baixo.

Análise de dados com package `raster`: valores das células

Em seguida é desenhado o histograma para perceber como é que as intensidades na imagem são calculadas:

```
1 out<-hist(v,main="valores vs
      intensidade")
2 fqs<-out$counts # frequências
      absolutas das classes
3 # representar a transformação
      linear de valores dos
      pixels em intensidade
4 lines(x=range(v),y=range(fqs),
      col="blue")
5 # representar os valores de
      intensidade
6 axis(4,at=seq(min(fqs),max(fqs)
      ,length.out=5),labels=seq
      (0,1,length.out=5))
7 mtext("intensidade", side=4,
      line=-1.5,col="blue")
```



Nota: `hist(pan)` descreveria apenas uma amostra dos valores.

Análise de dados com package `raster`: alteração de contraste

Uma forma de aumentar o contraste é saturar a imagem (para valores baixos, i.e. escuros) e/ou valores elevados. Neste caso, a observação do histograma sugere saturar a imagem para valores elevados.

Exemplo: aumentar o contraste fixando o valor 25000 para a saturação da imagem:

```
plot(pan, zlim=c(0,25000), xaxt="n"
    , yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE
    , col=cores,horizontal=TRUE)
```

Em alternativa pode saturar-se pelo quantil 0.999:

```
plot(pan, zlim=c(0,quantile(v,.999)
    ), xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE,
     axes=FALSE, col=cores,legend=
    FALSE)
```

Análise de dados com package `raster`: coordenadas x, y

Muitas funções permitem extrair informação da imagem. Em particular é possível obter as coordenadas dos centros de todos os pixels da imagem e a dimensão desses pixels.

`coordinates` devolve as coordenadas dos centros das células; mais precisamente devolve uma matrix com duas colunas que correspondem a x e a y;
`res` devolve a resolução nas duas direcções;
`extent` devolve um objecto com a extensão da imagem;

```
1 head(coordinates(pan))
2 res(pan)
3 extent(pan)
```

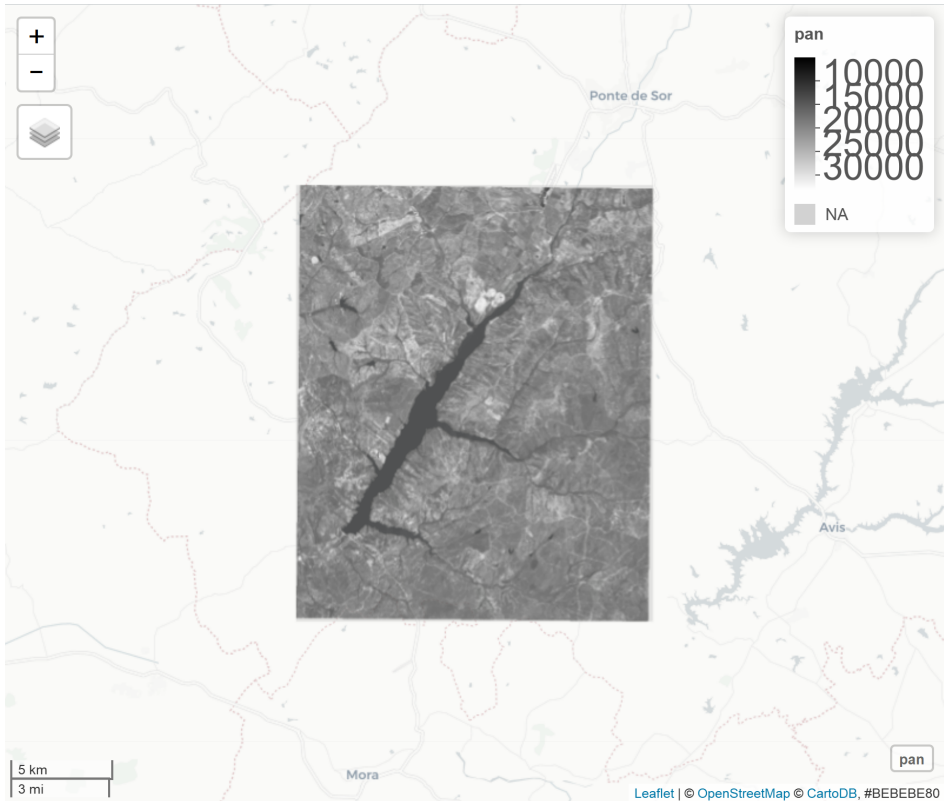
Em analogia a `zlim` pode usar-se `xlim` e `ylim` para restringir o a imagem produzida com `plot` a uma região mais pequena:

```
1 plot(pan, xlim=c(570000,575000), ylim=c(4315000,4325000), zlim=
    c(0,25000), xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE, col=
    cores,legend=FALSE)
```

Localizar dados geograficamente com package `mapview`:

A função `mapview::mapView` devolve uma visão interactiva de objectos R espaciais (dados raster ou dados vectoriais). Abre uma janela do tipo "viewer" (nota: não é a janela "Plots") que permite aceder à web.

```
1 library(mapview)
2 # definir vector de cores:
      100 tons de cinzento
3 cores<-gray(seq(0,1,length
      .out=100))
4 # usar mapView para
      visualizar raster
5 mapView(pan,legend=TRUE,
      col.regions=cores)
```



Dados matriciais: interface com "rato" e `extent`

O ambiente R é muito limitado para manipular interactivamente dados geográficos. No entanto existem funções que permitem alguma interactividade tais como zoom, click, locator ou drawExtent.

A função `raster::drawExtent` permite usar o rato sobre a imagem para definir um objecto de classe `extent`:

```
plot(pan, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE, legend=
    FALSE, col=cores)
box <- drawExtent() # clicar em 2 cantos
# definir a extensão da imagem usando box
plot(pan, ext=box, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE,
    legend=FALSE, col=cores)
```

Pode manipular-se directamente o objecto da classe `extent` para alterar a extensão da figura. No exemplo abaixo, usa-se apenas a metade central de `box`:

```
plot(pan, ext=box/2, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE,
     legend=FALSE, col=cores)
```

Dados matriciais: interface com "rato" e `extent`

A função `zoom` permite fazer um "zoom" numa região rectangular:

```
plot(pan, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE, legend=
    FALSE, col=cores)
zoom(pan, zlim=c(0,25000), new=FALSE, xaxt="n", yaxt="n", box
    =FALSE, axes=FALSE, legend=FALSE, col=cores) # clicar 2 x
```

Pode aceder-se aos valores das células interactivamente com `click`:

```
click(pan) # devolve valor de pixels; parar com <ESC>
```

Pode digitalizar-se um polígono com `locator`

```
pts <- locator() # devolve uma lista de coords; parar com <ESC>
polygon(cbind(pts$x,pts$y),border="red") # adiciona à imagem o
    polígono formado pelos pontos digitalizados
```

Pode usar-se `extent` ou algum objecto que possa ser interpretado como tal para recortar `pan` e criar um novo `RasterLayer`:

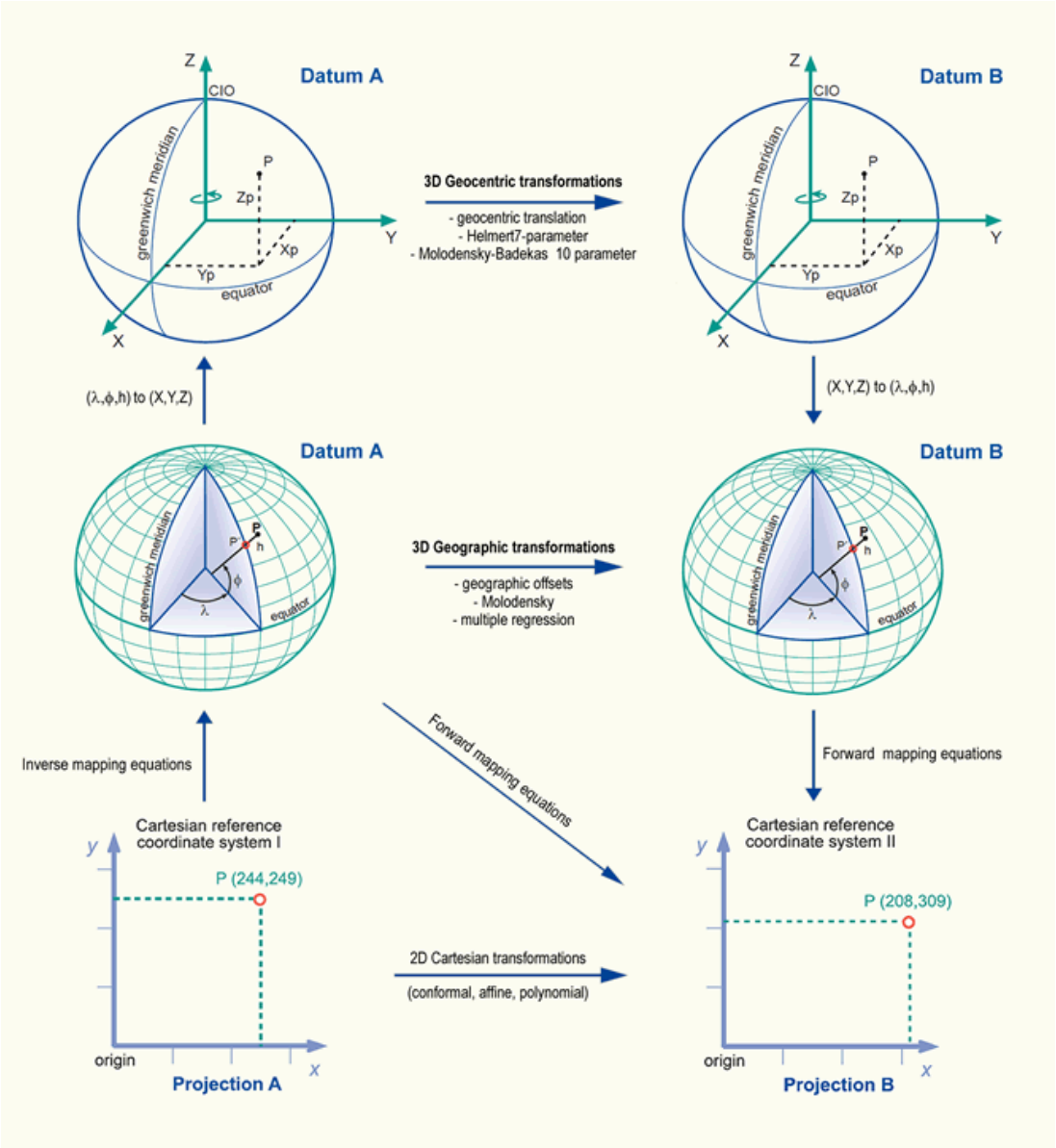
```
pan.crop <- crop(x=pan,y=pts) # a nova extensão é dada por pts
plot(pan.crop, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE,
    legend=FALSE, col=cores)
```

Breves noções sobre sistemas de coordenadas de referência (CRS)

Breves noções sobre sistemas de coordenadas de referência e projecções

Há essencialmente três sistemas de coordenadas usados em Geografia:

1. Coordenadas cartesianas 3D: usados em Geodesia;
2. Coordenadas geográficas (lat/long): coordenadas em que deve ser registada a informação; coordenadas GPS;
3. Coordenadas cartográficas (x, y).

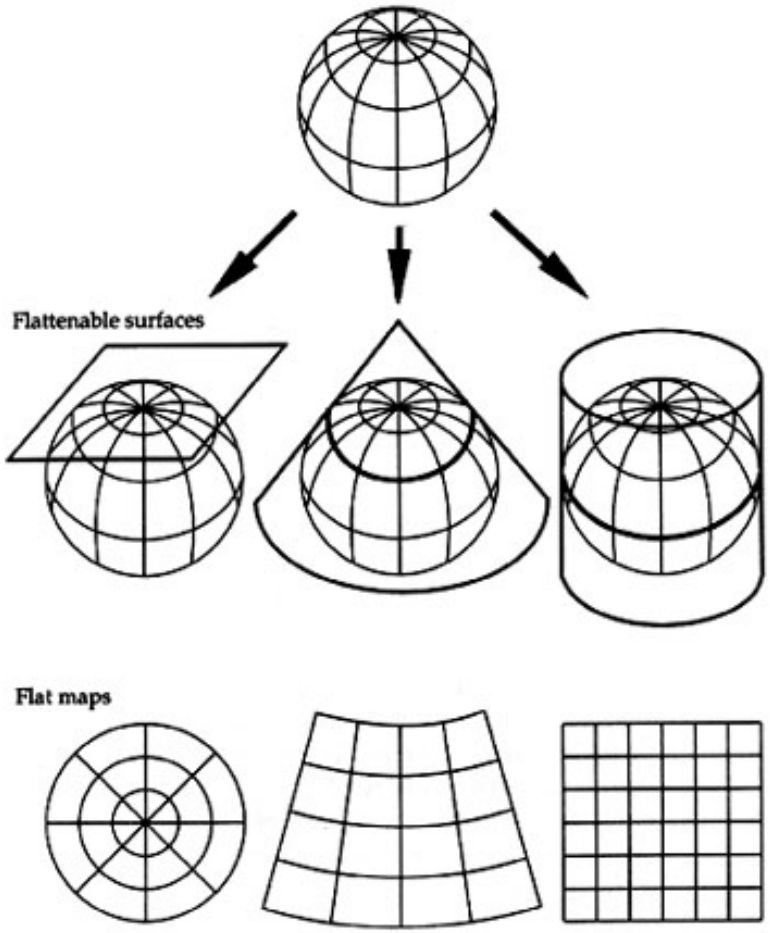


Projecções cartográficas

Uma projecção cartográfica é um método para reproduzir uma parte de um esferoide (elipsoide de revolução) sobre uma superfície planar.

Apesar de as projecções não serem em geral simples projecções geométricas, é conveniente classificá-las de acordo com a projecção geométrica mais semelhante:

- azimutal,
- cónica,
- cilíndrica



Projecções descritas na norma proj.4 (usada em R e QGIS)

Como indicado anteriormente, o seguinte comando devolve o sistema de coordenadas de referência de um objecto do tipo raster:

```
1 pan@crs # ou crs(pan)
```

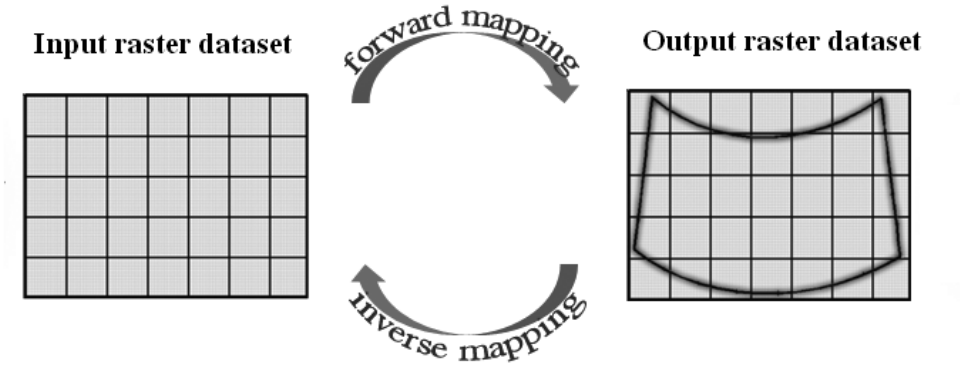
O resultado é um objecto de classe `CRS`:

```
CRS arguments:
 +proj=utm +zone=29 +datum=WGS84 +ellps=WGS84
 +units=m  +no_defs
```

neste exemplo, os parâmetros do sistema de coordenadas são:

1. `+proj=utm`: projecção universal transversa de Mercator (cilindro transverso);
2. `+zone=29`: zona da projecção UTM;
3. `+datum=WGS84`: Datum;
4. `+ellps=WGS84`: elipsoide;
5. `+units=m`: unidades para *x* e *y*

Alterar sistema de coordenadas de objectos `raster`



A re-projecção de um cdg matricial, com um dado CRS, num novo cdg matricial com outro CRS envolve três aspectos:

1. transformação de coordenadas $f(x, y) = (u, v)$;
2. características da grelha de output (extensão, resolução);
3. critério de re-amostragem.

Alterar sistema de coordenadas

O package `raster` contém a função `projectRaster` que permite re-projectar os dados, definir a nova resolução e extensão, e escolher o critério de re-amostragem.

Como visto atrás, a forma mais simples de definir o CRS é através de uma descrição `proj.4`.

A descrição `proj.4` contém entre outros parâmetros:

1. A definição da projecção cartográfica, e.g. `+proj=tmerc`;
2. A definição do datum, e.g. `+datum=WGS84`;
3. Se necessário, a descrição da transformação de datum relativamente ao datum WGS84, e.g.
   `+towgs84=-304.046,-60.576,103.64,0,0,0,0,`
   `+towgs84=-283.1,-70.7,117.4,-1.16,0.06,-0.65,-4.1`
   ou `+nadgrids=ptLX_e89.gsb`.

Sistema de coordenadas: transformação de datum

Quando o *datum* (elipsoide de referência e ponto de fixação) difere de um sistema de coordenadas para outro, é necessário fazer uma transformação de datum. O parâmetro `+towgs84` ou `+nadgrids` é usado para definir uma transformação do datum do sistema de coordenadas no datum WGS84.

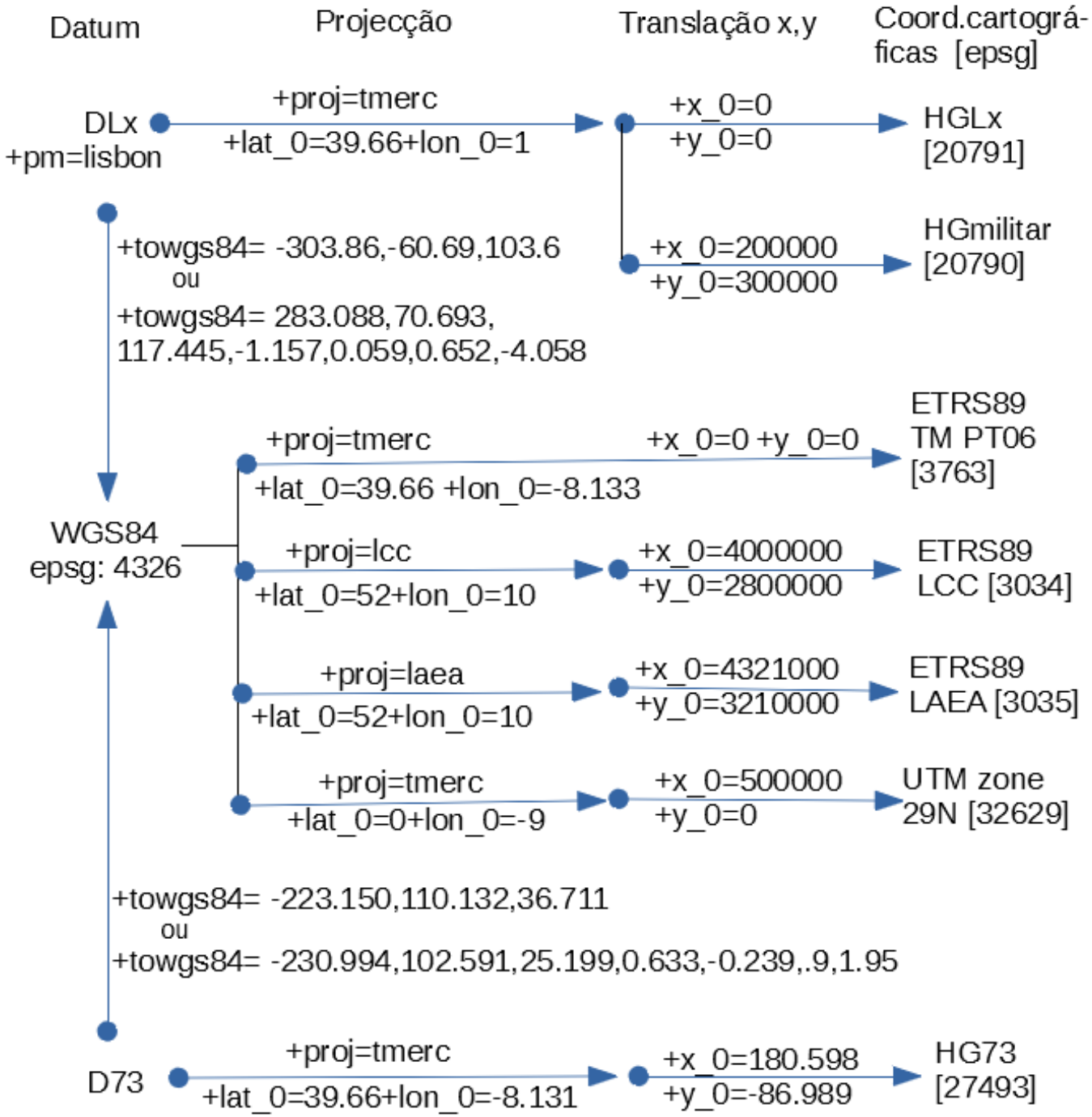
Exemplos de transformação de Datum Lisboa em WGS84:

1. transformação de 3 parâmetros:
   `+towgs84=-304.046,-60.576,103.64` ;
2. transformação com 7 parâmetros:
   `+towgs84=-283.1,-70.7,117.4,-1.16,0.06,-0.65,-4.1`.
3. transformação pelo método das grelhas:
   `+nadgrids=ptLX_e89.gsb`.

Alguns CRS úteis

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

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



Alterar sistema de coordenadas

Exemplo 1: re-projectar indicando apenas o CRS do output; neste caso, a extensão e resolução são iguais às do input; o critério de re-amostragem é bi-linear por omissão.

```
# Coordenadas ``militares''
igeoe <- "+proj=tmerc +lat_0=39.66666666666666 +lon_0=1 +
    towgs84=-283.1,-70.7,117.4,-1.16,0.06,-0.65,-4.1 +k=1 +x_
    0=200000 +y_0=300000 +ellps=intl +pm=lisbon +units=m"
# o arumento crs pode ser de classe "character" ou "CRS"
m.igeoe <- projectRaster(pan, crs=igeoe)
```

Exemplo 2: criar primeiro um objecto `RasterLayer` vazio com a extensão e resolução desejados, e em seguida fazer a re-projecção do input com `projectRaster` ; no exemplo é também escolhido o critério de re-amostragem com o argumento `method`:

```
vazio <- raster(xmn=195000, xmx=205000, ymn=230000, ymx=245000,
    resolution=100,crs=igeoe)
m2 <- projectRaster(from=pan,to=vazio,method="ngb")
m3 <- projectRaster(from=pan,to=vazio,method="bilinear")
```

Alterar sistema de coordenadas

Ilustração: comparar input `pan` e output `m.igeoe` da re-projecção.

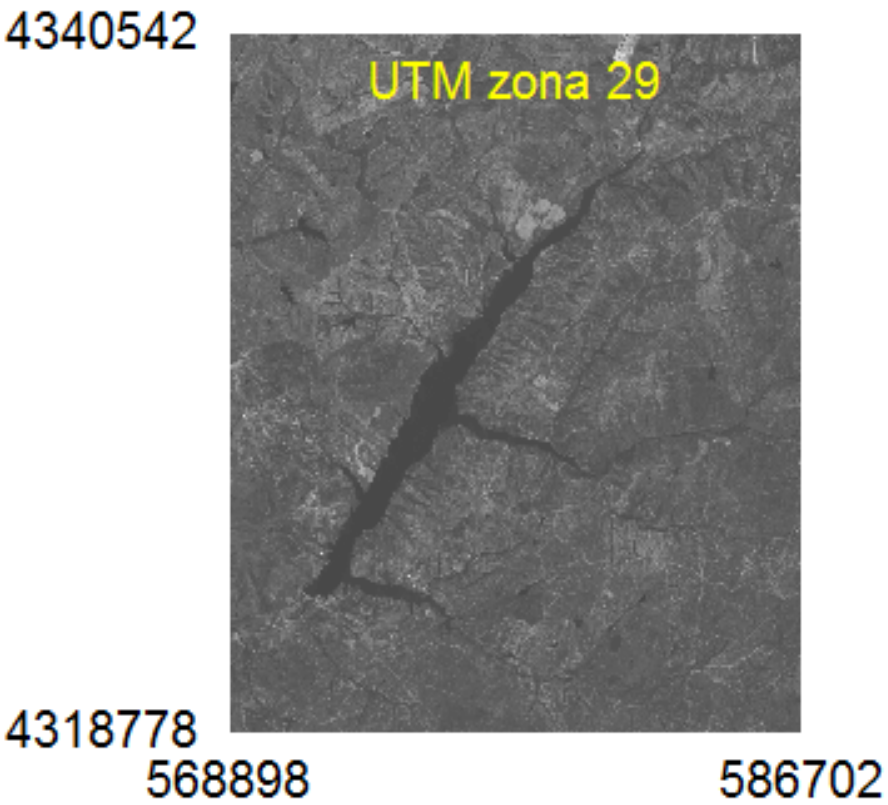
Representar dados originais em coordenadas UTM, zona 29:

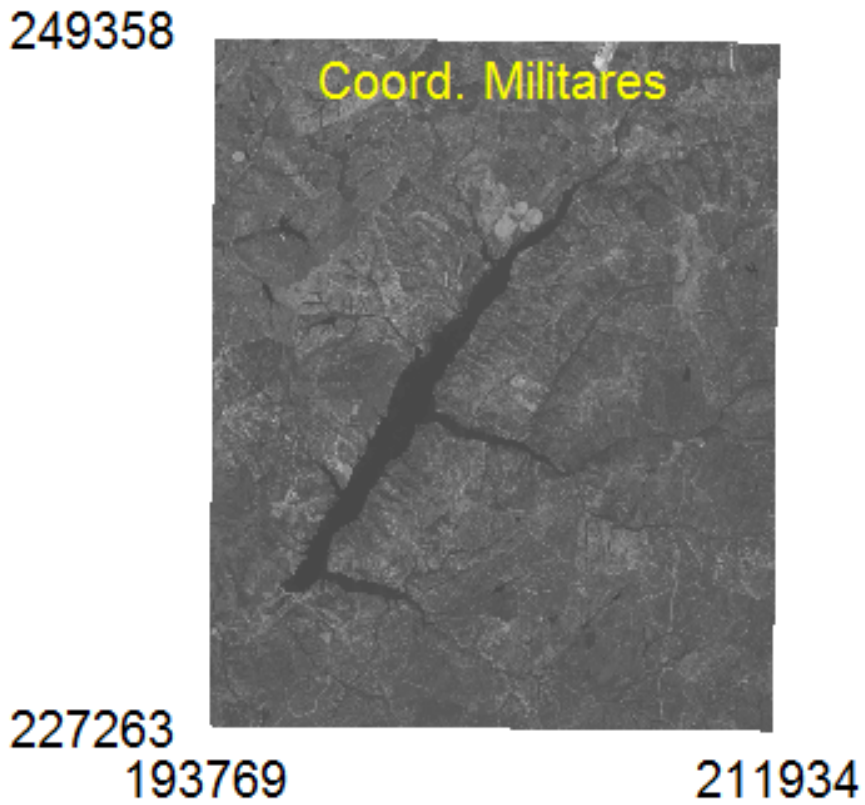
```
par(mfrow=c(2,1))
plot(pan, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE, legend=
    FALSE, col=cores,zlim=c(0,25000))
xy<-as.vector(pan@extent)
# xpd para poder escrever fora da imagem
text(xy[c(1,2,1,1)],xy[c(3,3,3,4)],round(xy),pos=c(1,1,2,2),xpd
    =TRUE)
```

Representar a imagem transformada para coordenadas militares:

```
plot(m.igeoe, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE, legend
    =FALSE, col=cores,zlim=c(0,25000))
xy<-as.vector(m.igeoe@extent) # extensão xmin, xmax, ymin, ymax
text(xy[c(1,2,1,1)],xy[c(3,3,3,4)],round(xy),pos=c(1,1,2,2),xpd
    =TRUE)
```

Alterar sistema de coordenadas





As coordenadas cartográficas das duas imagens são muito diferentes, embora representem a mesma localização.

Alterar sistema de coordenadas

Como dito atrás, a transformação de datum (que é sempre relativa a WGS84) pode ser feita de duas formas:

1. através de um conjunto de parâmetros (transformação 3D conhecida por Helmert ou Bursa-Wolf), e.g. `+towgs84=-283.1,-70.7,117.4,-1.16,0.06,-0.65,-4.1`;
2. através de grelhas (conhecidas por "NAD grids") , e.g. `+nadgrids=DLX_ETRS89_geo.gsb`.
   Neste caso, é necessário:
   1. colocar o ficheiro com a informação necessária (e.g. ”DLX_ETRS89_geo.gsb") na pasta indicada por `system.file("proj", package = "rgdal")`;
   2. indicar na definição do CRS que a transformação de datum é do tipo "nadgrid" com o parâmetro `+nadgrids=DLX_ETRS89_geo.gsb`;
   3. aplicar a projecção da forma habitual.

`http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/coordenadas/index.htm` ou `http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/transformacao_de_coordenadas/grelhas_em_ntv2/`

Alterar sistema de coordenadas: projecção usando grelhas

Exemplo: Re-projectar cdg `pan` pelo método das grelhas.

Definir CRS com parâmetro `+nadgrids`, e re-projectar:

```
igeoe.grid <- "+proj=tmerc +lat_0=39.66666666666666 +nadgrids=
    DLX_ETRS89_geo.gsb +lon_0=1 +k=1 +x_0=200000 +y_0=300000 +
    ellps=intl +pm=lisbon +units=m"
m.grid <- projectRaster(pan, crs=igeoe.grid)
```

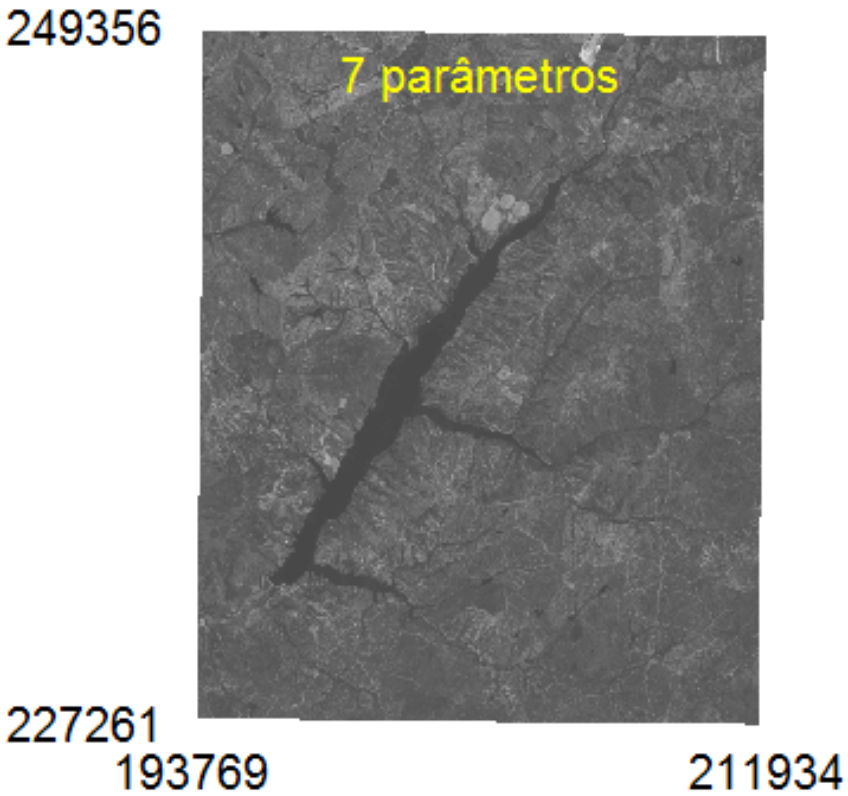
Representar o resultado:

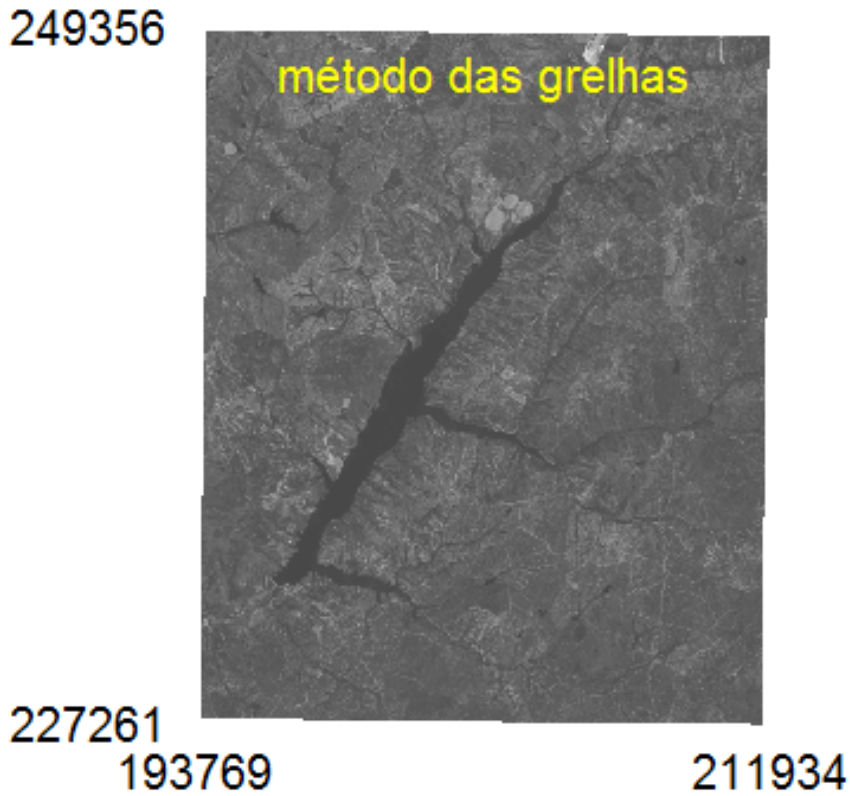
```
plot(m.grid, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE, legend=
    FALSE, col=cores,zlim=c(0,25000))
xy<-as.vector(m.grid@extent)
text(xy[c(1,2,1,1)],xy[c(3,3,3,4)],round(xy),pos=c(1,1,2,2),xpd
    =TRUE)
```

Alterar sistema de coordenadas: projecção usando grelhas

Comparação do cdg `m.igeoe`, obtido através do CRS `igeoe`, que usa 7 parâmetros para a transformação de datum, com o cdg `m.grid` obtido usando o método das grelhas e que é em geral mais preciso.

Para este caso as diferenças são inferiores a 1 m (e por isso não são visíveis) mas podem ser mais pronunciadas em outras zonas de Portugal.





Sistemas de coordenadas na cartografia portuguesa: descrição proj.4

Alguns exemplos de CRS usados na cartografia portuguesa:

1. Coordenadas geográficas WGS84 :
   `"+proj=longlat +ellps=WGS84 +datum=WGS84"`; ou
   `"+init=epsg:4326"`;
2. Coordenadas projectadas ETRS-PT-TM06
   `"+ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0 +proj=tmerc`
   `+lat_0=39d40'05.73''N+lon_0=08d07'59.19''W"`; ou
   `"+init=epsg:3763"`
3. Coordenadas "militares" do IGeoE (Datum Lisboa)
   `"+proj=tmerc +towgs84=-304.046,-60.576,103.64`
   `+lat_0=39.6666666666666 +lon_0=1`
   `+k=1 +x_0=200000 +y_0=300000 +ellps=intl`
   `+pm=lisbon +units=m"`; ou `"+init=epsg:20790"`.

Uma boa fonte para descrições proj.4 e outras descrições de sistemas de coordenadas é o site `http://spatialreference.org/`.

Exercício 1: alteração de CRS e uso de funções interactivas

Usando o objecto `pan`, em coordenadas UTM zona 29, que representa uma região em redor da albufeira da Barragem de Montargil, determine:

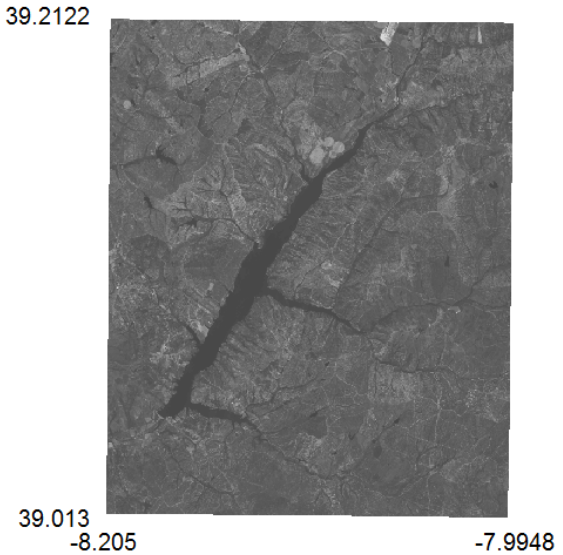
1. a gama de latitudes e longitudes que corresponde a essa imagem;
2. a localização da parede da barragem em lat/long.

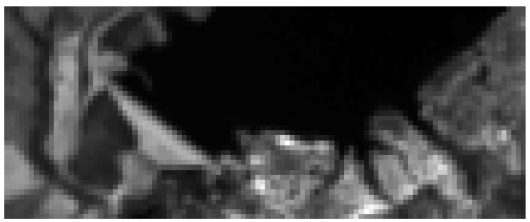
Sugestão: Use `projectRaster` e o CRS de coordenadas geográficas lat/long para obter as novas coordenadas. Para localizar bem a parede da barragem use `zoom` e para identificar use `locator`.

Solução: aproximadamente lat=39.05347 N e long=8.176397 W.

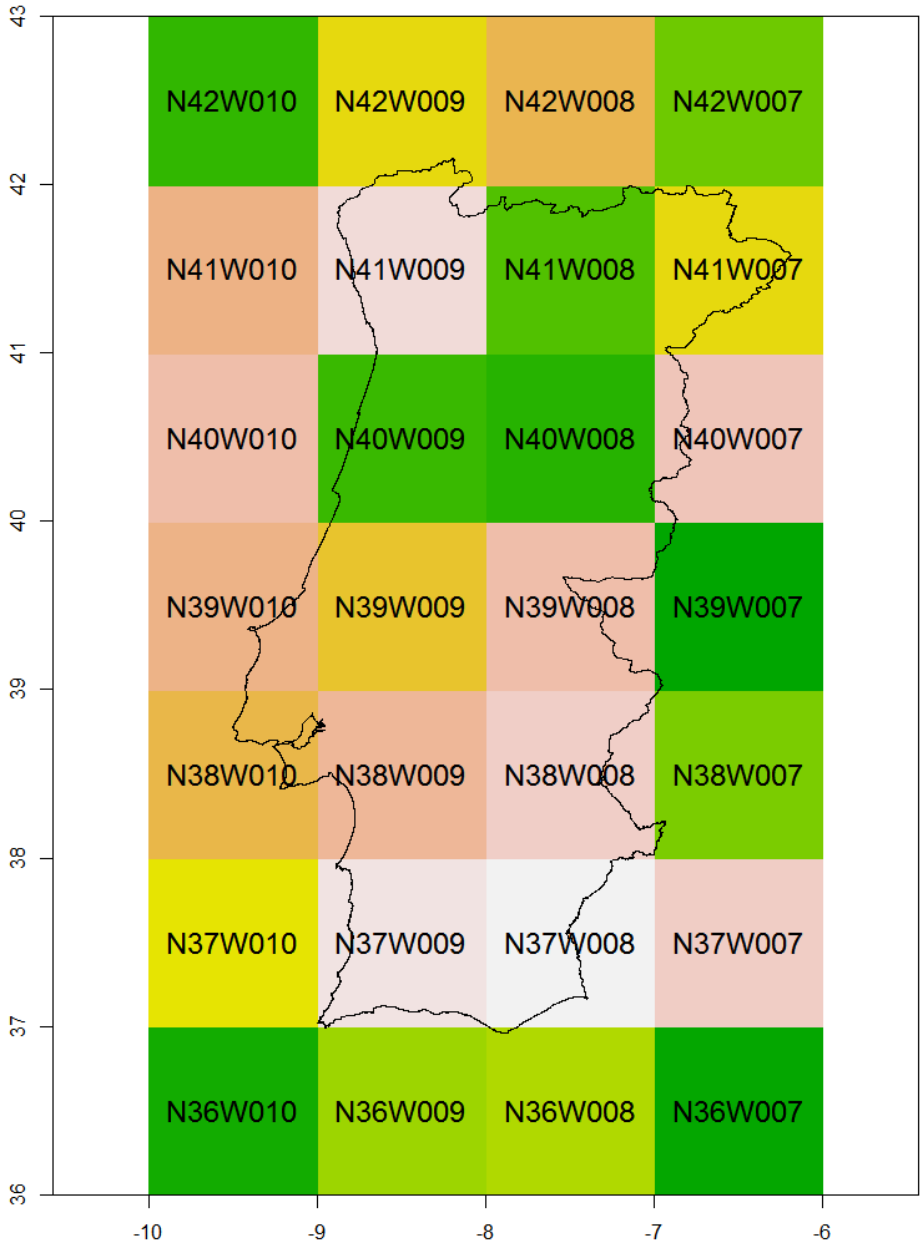
Solução do exercício

```
# projectar raster em WGS84
wgs84<-"+proj=longlat +ellps=WGS84 +
    datum=WGS84"
w <- projectRaster(pan, crs=wgs84)
plot(w, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE,
    axes=FALSE, legend=FALSE, col=cores
    ,zlim=c(0,25000))
# Determinar a extensão
xy<-as.vector(w@extent)
text(xy[c(1,2,1,1)],xy[c(3,3,3,4)],
    round(xy,4),pos=c(1,1,2,2),xpd=TRUE
    )
# Fazer zoom sobre parede da baragem
zoom(w, new=FALSE, xaxt="n", yaxt="n",
    box=FALSE, axes=FALSE, legend=FALSE
    , col=cores) # clicar sobre 2
    pontos
# Usar locator para obter coordenadas
    lat/long da parede da barragem
locator() # parar com <ESC>
```





Exercício 2: criar um novo raster



O objectivo é criar um raster em WGS84 com resolução de 1º e valores aleatórios e sobrepor os códigos das células de 1º.

As coordenadas em longitude/latitude do contorno do território português está disponível no ficheiro *limite_continente_wgs.txt*

Uma possível solução do exercício

Criar um raster com resolução de 1º para o globo:

```
wgs84<-"+proj=longlat +ellps=WGS84 +datum=WGS84"
r<-raster(nrows=180, ncols=360, xmn=-180, xmx=180, ymn=-90, ymx
    =90, crs=wgs84)
```

Comparar com o raster criado por omissão com a função `raster`:

```
raster()
```

Associar um índice a cada célula

```
values(r)<-sample(1:(r@ncols*r@nrows)) # valores aleatórios
plot(r)
dataType(r) # tipo de dados (FLT4S: float de 4 bytes por
    omissão)
```

Recortar o raster sobre Portugal Continental

```
pt<-crop(r, c(-10,-6,36,43)) # long/lat  mínimos e máximos
plot(pt,asp=1,legend=FALSE)
```

O argumento `asp=1` obriga a que a escala em x e em y sejam iguais.

Uma possível solução do exercício (cont.)

Escrever o código pretendido sobre cada célula.

```
xypt<-coordinates(pt)
# escrever sobre cada pixel a string N"latitude"W"longitude" (
    do canto inf esquerdo de cada célula)
flong<-formatC(floor(xypt[,"y"]),width = 2, flag = "0")
flat<-formatC(abs(floor(xypt[,"x"])),width = 3,  flag = "0")
text(x=xypt[,"x"],y=xypt[,"y"],paste0("N",flong,"W",flat))
```

A função `formatC` permite criar *strings* de caracteres formatados (`flag="0"` indica que os espaços são preenchidos com 0.)

Adicionar o contorno do território à figura. O ficheiro `limite_continente_wgs.txt` tem duas colunas: a primeira coluna tem as longitudes e a segunda coluna as latitudes.

```
limite<-read.table("limite_continente_wgs.txt",header=FALSE)
polygon(limite,border="black")
```

Exercício 3: combinação da dados em CRS distintos

Neste exercício pretende-se comparar os valores de elevação com os valores de índice de vegetação "NDVI" para a área protegida Sintra-Cascais.

Os dados de input estão em três sistemas de coordenadas distintos:

1. Dados NDVI derivados de uma imagem Landsat 8 de Março de 2014 com CRS UTM zona 29 e resolução de 30m – ficheiro "ndviSintra.tif";
2. Modelo digital de elevações (MDE) SRTM com CRS WGS84 e resolução de 3-arc segundos – ficheiro "n38_w010_3arc_v2.tif";
3. Limite da área protegida em CRS ETRS-PT-TM06, extraído de cartas disponíveis na página do ICNF – ficheiro "limite.AP.SintraCascais.ETRS.txt". O ficheiro tem duas colunas que correspondem à coordenada *x* e à coordenada *y* no CRS ETRS-PT-TM06 de pontos que definem o contorno da área protegida.

Análise de dados matriciais: exercício AP Sintra-Cascais

Neste exercício, vamos considerar que o CRS de referência ("CRS do projecto") é o ETRS-PT-TM06.

Ler ficheiro com as coordenadas (ETRS) do limite da área protegida para matriz:

```
limite.ap <- as.matrix(read.table(file="limite.AP.SintraCascais.ETRS.txt",header=FALSE))
```

Ler ficheiro com dados de elevação (MDE):

```
mde <- raster("n38_w010_3arc_v2.tif")
```

Converter MDE para ETRS e recortar pelo limite da AP:

```
etrs <- "+proj=tmerc +lat_0=39.6682583 +lon_0=-8.1331083 +k=1 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=GRS80 +units=m"
mde.etrs <- projectRaster(mde,crs=etrs)
mde.etrs <- crop(mde.etrs,limite.ap)
```

Análise de dados matriciais: exercício AP Sintra-Cascais

Ler imagem de índice de vegetação NDVI:

```
ndvi<-raster("ndviSintra.tif")
```

Re-projectar NDVI para ETRS alinhando a imagem com `mde.etrs`. O alinhamento é feito escolhendo como extensão e como resolução do novo `RasterLayer` a extensão e a resolução de `mde.etrs`:

```
ndvi<-raster("ndviSintra.tif")
vazio<-raster(ext=mde.etrs@extent,crs=mde.etrs@crs,resolution=
    res(mde.etrs))
ndvi.etrs<-projectRaster(from=ndvi,to=vazio)
```

Nota: para re-projectar um cdg sobre a quadrícula de outro cdg matricial, não é necessário conhecer a extensão, resolução e CRS do cdg original: basta extrair essa informação com `@extent`, `@crs`, e com a função `res`.

Análise de dados matriciais: exercício AP Sintra-Cascais

Para obter uma amostra de pares de valores de NDVI e de elevação pode usar-se a função `sp::spsample` que permite fazer uma amostragem espacial numa extensão escolhida.

Alternativamente, pode realizar-se uma escolha aleatória de 2000 pontos na extensão de `limite.ap` usando a função `sample`.

```
1 minx<-min(limite.ap[,1]); maxx<-max(limite.ap[,1])
2 miny<-min(limite.ap[,2]); maxy<-max(limite.ap[,2])
3 amostra2D<-cbind(sample(x=minx:maxx,size=2000),sample(x=miny:
      maxy,size=2000))
```

Note-se que os 2000 pontos escolhidos por `spsample` ou pelo exemplo acima não estão garantidamente no interior do polígono `limite.ap` dado que apenas é garantido estarem no menor rectangulo que contém `limite.ap`. Será então necessário seleccionar o subconjunto dos pontos escolhidos que estão no polígono.

Análise de dados matriciais: exercício AP Sintra-Cascais

A selecção dos pontos de `amostra2D` que estão no interior do polígono `limite.ap` pode ser realizado com a função `sp::points.in.polygon`. O valor devolvido pela função pode ser 0, 1, 2, ou 3 para cada ponto testado. É 1 quando o ponto está no interior do polígono.

```
1 library(sp)
2 # vector TRUE/FALSE do tamanho de amostra:
3 dentro<-point.in.polygon(point.x=amostra2D[,1], point.y=
      amostra2D[,2],pol.x=limite.ap[,1],pol.y = limite.ap[,2])==1
4 # selecção dos pontos dentro de limite.ap:
5 amostra2D.ap<-amostra2D[dentro,]
```

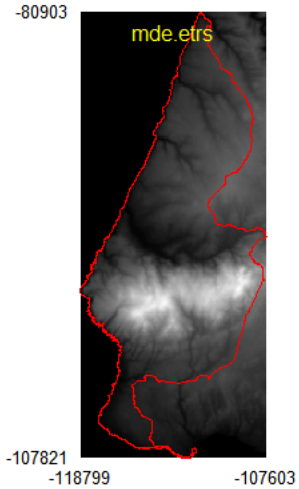
Finalmente, pode usar-se a função `raster::extract` para extrair os valores dos raster `mde.etrs` e `ndvi.etrs` nos pontos da amostra.

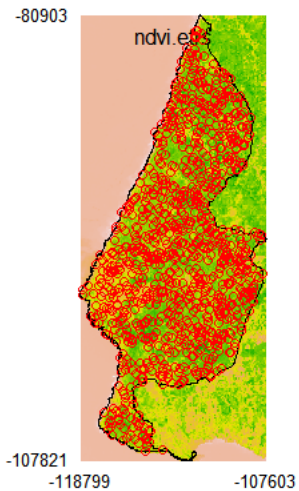
```
1 y<-extract(ndvi.etrs,amostra2D.ap)
2 x<-extract(mde.etrs,amostra2D.ap)
```

A função `extract` devolve um vector dos valores dos pixels nos pontos da amostra.

Análise de dados matriciais: exercício AP Sintra-Cascais

```
1  par(mfrow=c(2,1),mar=rep(2,4))
2  plot(mde.etrs,  xaxt="n", yaxt="n", box=
       FALSE, axes=FALSE, col=cores,legend=
       FALSE)
3  polygon(limite.ap,border="red")
4  xy<-as.vector(mde.etrs@extent)
5  text(xy[c(1,2,1,1)],xy[c(3,3,3,4)],round(
       xy,0),pos=c(1,1,2,2),xpd=TRUE,cex=0.8)
6  text(x=mean(xy[1:2]),y=xy[4],"mde.etrs",
       col="yellow",pos=1)
7
8  plot(ndvi.etrs, xaxt="n", yaxt="n", box=
       FALSE, axes=FALSE, legend=FALSE)
9  polygon(limite.ap,border="black")
10 xy<-as.vector(ndvi.etrs@extent)
11 text(xy[c(1,2,1,1)],xy[c(3,3,3,4)],round(
       xy,0),pos=c(1,1,2,2),xpd=TRUE,cex=0.8)
12 text(x=mean(xy[1:2]),y=xy[4],"ndvi.etrs",
       col="black",pos=1)
13 points(amostra2D.ap,col="red")
```

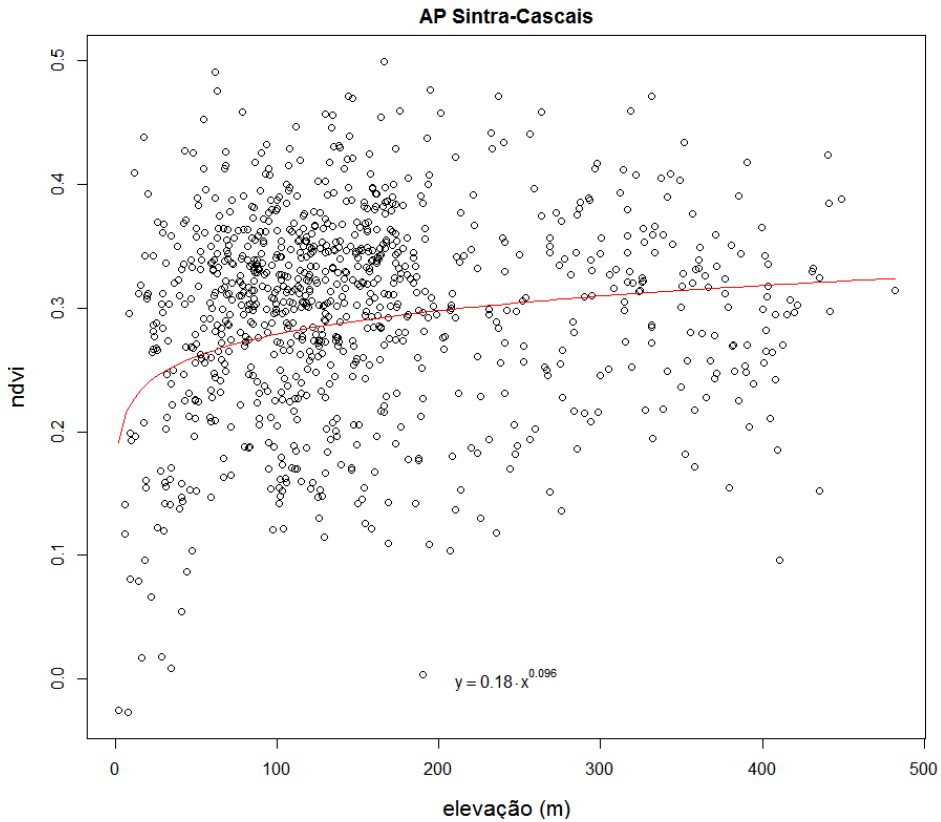




Análise de dados matriciais: exercício AP Sintra-Cascais

Pode agora construir-se um gráfico e ajustar uma curva $y = a\,x^b$:

```
plot(y~x,xlab="elevação (m)",
    ylab="NDVI",main="AP Sintra
    -Cascais",cex.lab=1.3)
xx<-log(x[x>0 & y>0]) #
    tranformação logarítmica
yy<-log(y[x>0 & y>0])
ajust<-lm(yy~xx) # ajustar
    regressão linear
curve(exp(ajust$coef[1])*x^
    ajust$coef[2],add=TRUE,col=
    "red",lwd=2)
text(mean(range(x,na.rm=TRUE))
    ,0,substitute(paste(y==a
    %.% x^b),list(a=round(exp(
    ajust$coef[1]),3), b=round(
    ajust$coef[2],3),sep="")))
```



Para ver os símbolos que podem ser usados em expressões matemáticas como a da figura fazer `>?plotmath`.

Composição de imagens com o package `raster`

Análise de dados com package `raster`: composição de imagens

A classe `raster` contém objectos `RasterBrick` e `RasterStack` que suportam múltiplas imagens. Cada imagem deve ter a mesma extensão e resolução. `RasterStack` é mais flexível (por exemplo, pode ser formado lendo vários ficheiros) e `RasterBrick` é uma estrutura de dados mais rígida mas que permite um processamento mais eficiente.

No próximo exemplo usa-se a função `stack` para ler várias bandas Landsat 7 da mesma região (cada banda é um ficheiro GeoTIFF). Depois, converte-se o resultado para um `RasterBrick` . Em alternativa, `brick` lê um GeoTIFF único com várias layers.

```
1 fichs <- list.files(pattern="banda[1-7]")
2 s <- stack(as.list(fichs))
3 s # devolve sumário dos dados
4 b <- brick(s)
5 b # idem
6 nlayers(b) # devolve número de camadas em b
```

Análise de dados com package `raster`: valores das bandas

A função `raster::values` também permite aceder aos valores de um `RasterBrick`: devolve uma matrix com um número de colunas igual ao número de bandas, e com número de linhas igual ao número de pixels.

No exemplo seguinte, em que se constroi os histogramas das várias bandas, usar `hist(b[[i]])` é equivalente a fusar `hist(values(b)[,i])`: ambos acedem aos valores da *i*-ésima banda.

```
par(mfrow=c(3,2),mar=c(4,4,2,2));
for (i in 1:nlayers(b)) hist(b[[i]], xlim=range(values(b),na.rm
    =TRUE),breaks=seq(0,1,length.out=20))
```

No exemplo seguinte, será elaborada uma combinação colorida da imagem multiespectral. A extensão da imagem pode ser mais uma vez definida através de `extent`.

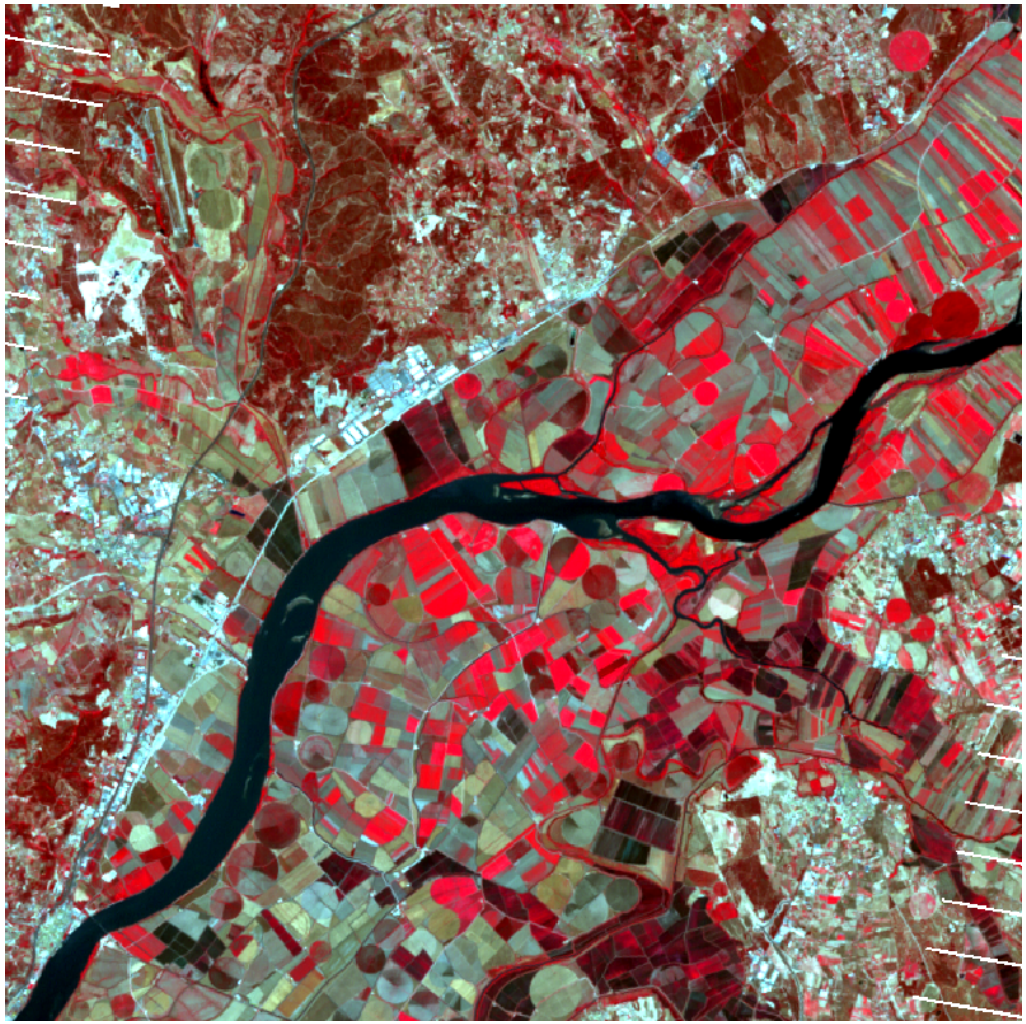
```
box <-extent(c(500000, 520000, 4310000, 4330000))
```

Análise de dados com package `raster`: Composição Landsat RGB=432, Ribatejo

A função `plotRGB` permite construir combinações coloridas de imagens. Vamos exemplificar com uma combinação `RGB=432`.

```
plotRGB(b, r=4,g=3,b=2,
      stretch="lin",ext=
      box)
```

Neste caso, há uma alteração linear do contraste e a figura é realizada apenas na extensão definida pela `box` definida atrás.



Análise de dados com package `raster`: dados Google Maps

Para além do package `mapview`, que permite aceder a imagens via browser, é possível ter acesso a várias fontes de dados matriciais, e em particular, a imagens Google Maps. Existem várias funções que permitem o acesso e "download" local dessas imagens tais como:

- `RgoogleMaps::GetMap`; os valores dos pixels estão disponíveis na componente `$myTile` que é de classe `array`.
- `dismo::gmap`; esta função devolve directamente um objecto de classe `raster` (com uma banda pancromática ou três bandas RGB).

```
1 library(RgoogleMaps)
2 ISA <- GetMap(center="Tapada da Ajuda", zoom=13, maptype="
      satellite") #leitura de imagem satélite
3 par(mfrow=c(1,1),mar=c(1,1,1,1))
4 PlotOnStaticMap(ISA) # plot
5 bb <- ISA$BBOX # extensão da imagem (em lat/long)
6 lat<-(bb$ll[1]+bb$ur[1])/2; long<-(bb$ll[2]+bb$ur[2])/2
7 text(long,lat,"ISA",cex=2,col="white")
```

Análise de dados com package `raster`: dados Google Maps

Vamos escolher uma pequena zona (por forma a ter melhor detalhe) para a qual se pretende ter as imagens de muito alta resolução Google Maps, na parte central do stack `b` (no Ribatejo) usado anteriormente.

Em primeiro vamos verificar que `b` tem coordenadas UTM, zona 29:

```
1 b@crs
```

Vamos extrair uma pequena região da imagem Landsat que poderia também ter sido obtido com `drawExtent()`:

```
1 e<-extent(as.vector(c( 513316, 514509, 4317568 ,4318417)))
2 landsat<-crop(b,e)
```

A imagem Google é extraída com coordenadas lat/long:

```
1 wgs84<-"+proj=longlat +ellps=WGS84 +datum=WGS84"
2 aux<-projectRaster(landsat, crs=wgs84)
3 # o slot @extent devolve um objecto de classe extent
4 aux@extent # coordenadas lat/long do objecto landsat
5 zona.central<-aux@extent/2 # coordenadas lat/long da parte
      central da extensão dada por aux@extent
```

Análise de dados com package `raster`: dados Google maps

Sabendo a extensão da zona em que queremos extrair a imagem Google, pode usar-se então a função `dismo::gmap` para aceder a essa imagem. O argumento `rgb` permite extrair a composição colorida (`rgb=FALSE` devolve um `RasterLayer`) ou as três bandas (`rgb=TRUE` devolve um `RasterBrick`). O argumento `scale` pode ser 1 ou 2 (resolução duas vezes melhor).

```
#install.packages("dismo")
library(dismo)
gm.wgs<-gmap(zona.central,type="satellite",lonlat=TRUE,rgb=TRUE
    ,scale=2)
```

Verificar que `gm.wgs` é de classe `RasterBrick`, que o CRS de `gm.wgs` é WGS84, e que as bandas se designam por "red", "green", "blue", com valores entre 0 e 254.

```
gm.wgs
```

Análise de dados com package `raster`: dados Google maps

Em seguida vamos verificar visualmente que as imagens `gm.wgs` (CRS WGS84) e `landsat` (CRS UTM, zona 29) se sobrepõem correctamente.

1. Re-projectar todos os dados de novo em ETRS-PT-TM06.

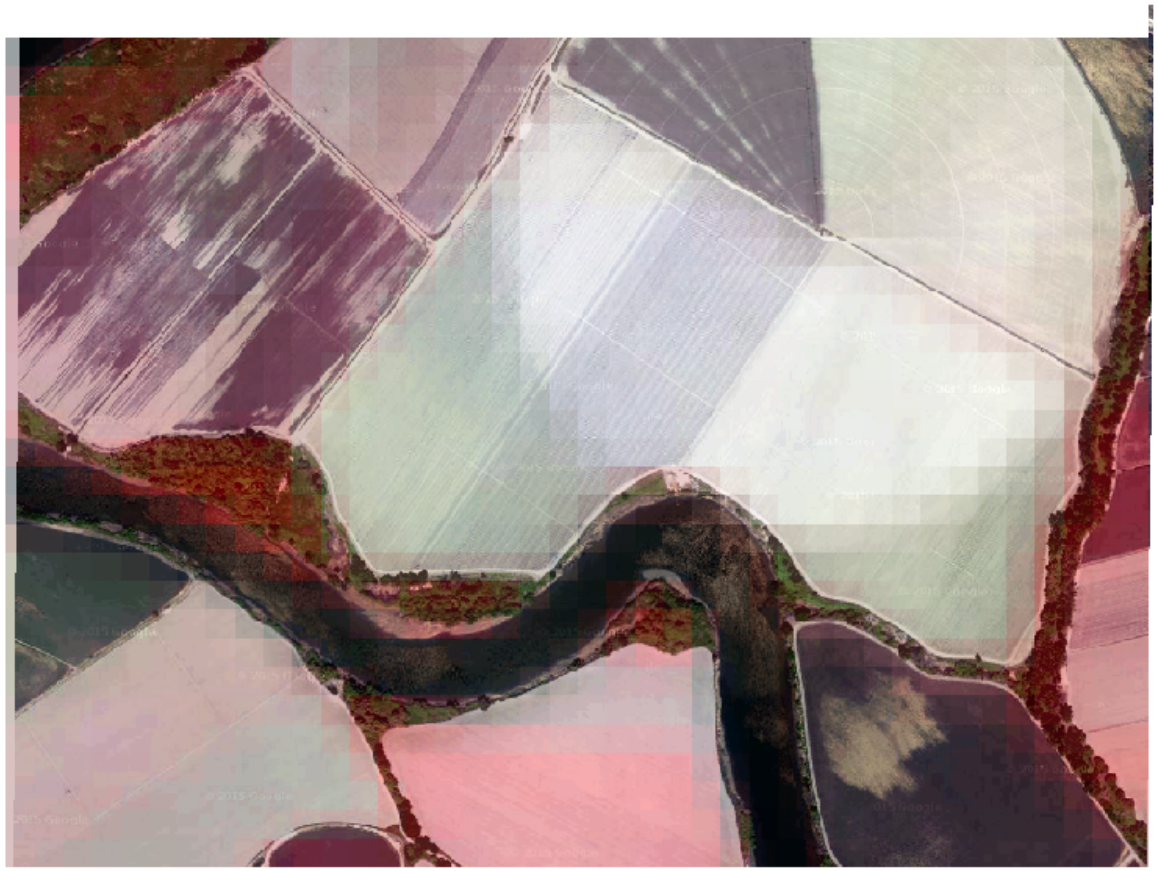
```
1 etrs<-"+proj=tmerc +lat_0=39.6682583 +lon_0=-8.1331083 +k=1
      +x_0=0 +y_0=0 +ellps=GRS80 +units=m"
2 gm.etrs<-projectRaster(gm.wgs,crs=etrs)
3 landsat.etrs<-projectRaster(landsat,crs=etrs)
```

2. Em seguida, construir a sobreposição usando parâmetro `alpha` que varia entre 0, para transparente, e 255, para opaco. A composição landsat é RGB=432

Exercício: Qual é a resolução (em metros) da imagem Google Maps descarregada? (sugestão: usar `gm.etrs` e não `gm.wgs`)

Análise de dados com package `raster`: Sobreposição de uma composição Landsat RGB=432 sobre um mapa de alta resolução (Google maps) no Ribatejo

```
1 par(mfrow=c(1,1))
2 # composição Google
      maps em cor
      verdadeira
3 plotRGB(gm.etrs,r=3,g
      =2,b=1)
4 # composição Landsat
      RGB=432
5 # alpha define
      transparência
6 plotRGB(landsat.etrs,r
      =4,g=3,b=2,stretch
      ="lin",ext=gm.
      etrs@extent,alpha
      =100,add=TRUE)
```



Análise de dados com package `raster`: álgebra de imagens

Os valores de um objecto `raster` podem ser acedidos com a função `values` que devolve um vector numérico. Mas é normalmente mais simples usar directamente o objecto `raster`. No exemplo abaixo calcula-se o NDVI a partir das bandas 3 e 4 de `RasterBrick b`.

```
1 ndvi <- (b$banda4 - b$banda3)/(b$banda4 + b$banda3)
```

Os valores são manipulados como numa matriz, e.g. determinar a proporção de pixels de `ndvi` que têm valor `NA`, ou alterar valores:

```
1 ncell(ndvi[is.na(ndvi)])/ncell(ndvi) #devolve a proporção de
    pixels com NA; pode usar-se length em vez de ncell
2 ndvi[ndvi<0] <- 0 # substituição de valor
```

Existem funções de mais alto nível tais como `reclassify`, `subs` ou `cut` que permitem alterar os valores das células usando uma "lookup table". Abaixo reclassifica-se `ndvi` de acordo com a transformação $]-1,0] \rightarrow 1$, $]0,.5] \rightarrow 2$ e $].5,1] \rightarrow 3$:

```
1 tabela <- cbind(c(-1,.2,.5),c(.2,.5,1),1:3)
2 ndvi.c <- reclassify(ndvi,rcl=tabela,right=TRUE)
```

Análise de dados com package `raster`: álgebra de imagens

Um conjunto de funções aplica-se a `RasterBrick` e `RasterStack` célula a célula devolvendo um novo `raster`

```
min(b) # RasterLayer dos mínimos nas 6 bandas
range(b) # devolve RasterBrick com min e max
```

Para obter uma estatística para cada banda usa-se `cellStats`:

```
cellStats(b,"mean") # devolve um vector com 6 componentes
```

Operações numéricas ou lógicas sobre um ou mais objectos `raster` podem ser realizadas com as funções `calc` e `overlay` respectivamente; `fun` tem que aceitar o mesmo número de argumentos que o número de camadas de `RasterBrick` ou `RasterStack`:

```
median(b) #dá erro
b.mediana<-overlay(b,fun=median) # lento, mas funciona
```

Análise de dados com package `raster`: mosaico de imagens

Podemos criar um mosaico a partir de um conjunto de imagens alinhadas, com a mesma resolução e CRS. Existem para tal duas funções no package `raster`:

1. a função `raster::merge` que usa a primeira imagem do conjunto quando há sobreposição;
2. a função `raster::mosaic` que é mais flexível, e que permite usar qualquer função das várias imagens quando há sobreposição.
   A função tem um argumento `fun` que é aplicado ao conjunto de valores de células com a mesma localização. A função indicada por `fun` tem que ter obrigatoriamente um argumento `na.rm` para poder ser aplicada a células com valor `NA`. Por exemplo,
   `fun=min`,
   `fun=mean`,
   `fun=function(x,...) quantile(x,.95)`.

Acesso a dados globais de altimetria em R

Existem vários conjuntos globais de dados de altimetria de acesso livre (ver `https://eros.usgs.gov/elevation-products`) e existem diversos packages de R que permitem aceder a esses dados tais como `raster` e `elevatr`.

Um dos conjuntos de dados de altimetria mais usado é o SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, 2000) que pode ser acedido directamente através do R (sem necessidade de recorrer a um browser para fazer o descarregamento dos ficheiros). Existem várias versões, em particular uma versão com resolução de 3" (≈90 m no Equador) e outra com resolução de 1" (≈30 m no Equador).

1. Acesso a SRTM3 com função `raster::getData` e argumento `name="SRTM"`: neste caso basta indicar um par de coordenadas lat/long na tile a ler;
2. Acesso `ftp` a SRTM3: `https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/`: é necessário indicar no caminho o código de cada *tile* $1^o \times 1^o$ que se pretende descarregar;

Acesso a dados globais de altimetria em R: `raster:getData`

A função `raster::getData` permite aceder a vários conjuntos de dados:

- Fronteiras administrativas se `name="GADM"`;
- Altitude a uma resolução grosseira (30” $\approx$ 900 m) se `name="alt"`;
- Dados climáticos se `name="worldclim"`;
- Dados climáticos futuros projectados se `name="CMIP5"`.

```
1 srtm<-raster::getData(name='alt', country="Portugal") # é
    rápido pois a resolução é 30''
2 srtm<-raster::getData(name='SRTM', lon=-7.5, lat=37.5) #
    resolução 3''
```

Uma função como `raster::getData` é conveniente pois com um único comando obtém-se o raster de elevação. No entanto, pode ser útil aceder a ficheiros disponíveis na web e descarregá-los individualmente usando comandos do R.

Acesso a dados globais de altimetria em R: `download.file`

Vamos usar dados de altimetria SRTM disponíveis on-line. Primeiro vamos criar uma string com a URL onde estão os dados:

```
1 urlzip<-"http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/
    N37W008.hgt.zip" # cobre SE de Portugal
```

Depois, usa-se a função do R `download.file` para descarregar o ficheiro para a pasta de trabalho:

```
1 download.file(url=urlzip,destfile="N37W008.hgt.zip",mode="wb")
```

Como o ficheiro está comprimido, usa-se `unzip` para descomprimir na pasta de trabalho:

```
1 unzip(zipfile="N37W008.hgt.zip")
```

Finalmente, usa-se `raster`, que lê em particular o formato "hgt":

```
1 srtm8<-raster("N37W008.hgt")
```

Fazer o mesmo para descarregar o ficheiro `N37W009`, e obter `srtm9`.

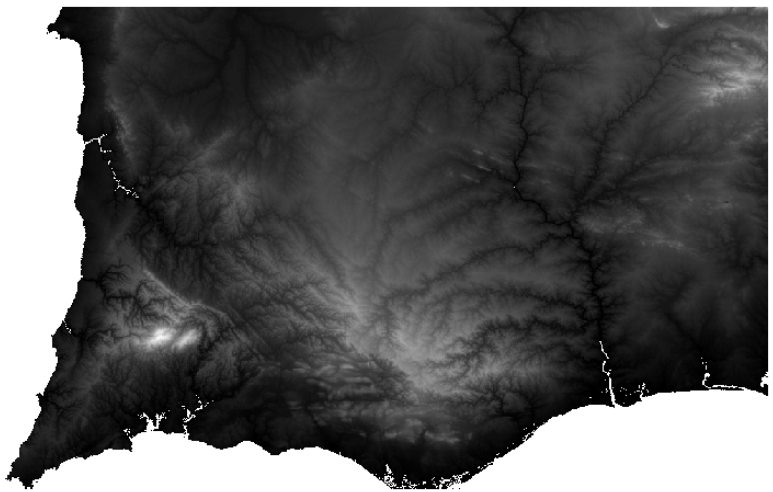
Análise de dados com package `raster`: mosaico de imagens

Para os dados do exemplo que está a ser considerado, não há sobreposição das imagens e por isso o mosaico pode ser simplemente obtido com a função `raster::merge`:

```
1 srtm <- merge(srtm8,srtm9)
2 srtm[srtm<=0]<-NA # para não representar elevações negativas
```

Representar o resultado (`cores` são tons de cinzento):

```
1 plot(srtm, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE, legend=
    FALSE, col=cores)
```



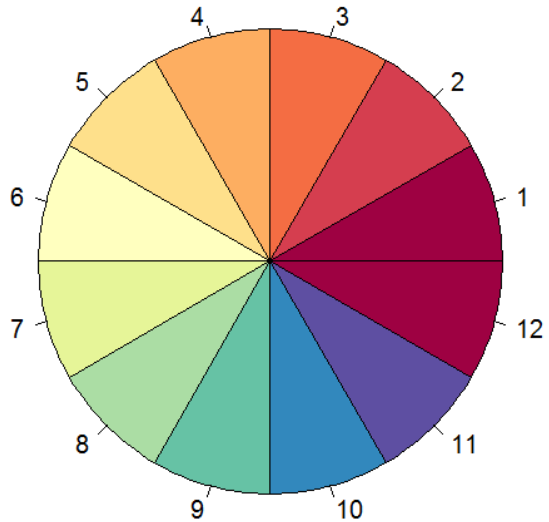
Análise de dados com package `raster`: cores

Para tornar a figura mais apelativa, podemos usar uma escala de cores apropriada para a altimetria. O package `RColorBrewer` permite definir algumas escalas de cores interessantes:

```
1 library(RColorBrewer) # para criar paletas
2 RColorBrewer::display.brewer.all() # ver possíveis paletas de
      cores
```

Para ver em mais detalhe uma paleta particular com a função `pie`:

```
1 N<-10; pal<-"Spectral"; pie(rep(1,N), col=brewer.pal(n=N,pal))
```



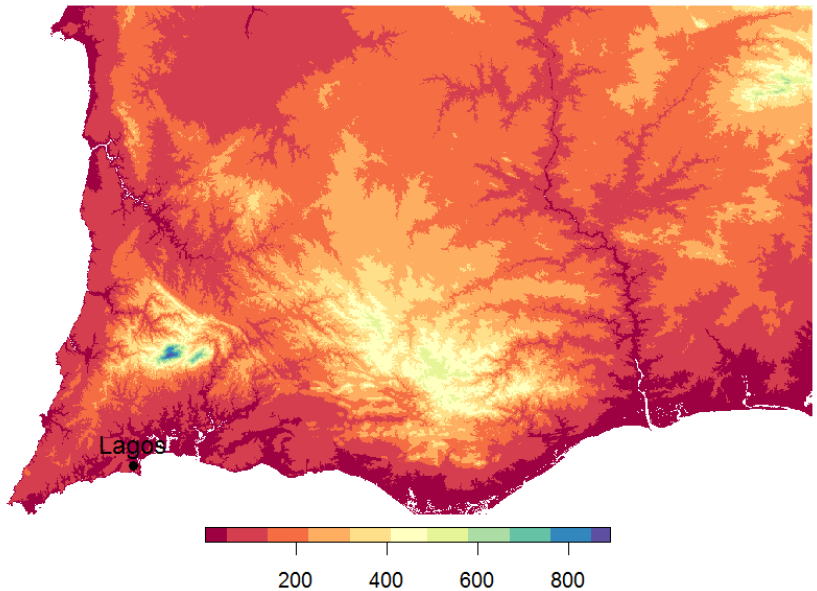
Análise de dados com package `raster`: Carta hipsométrica, Algarve

Vamos usar a paleta `Spectral` para criar uma carta hipsométrica com 12 classes:

```
plot(srtm, xaxt="n", yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE,
    horizontal=TRUE, col=brewer.pal(n=11, "Spectral"))
```

Adicionar a localização e nome da cidade de Lagos à imagem:

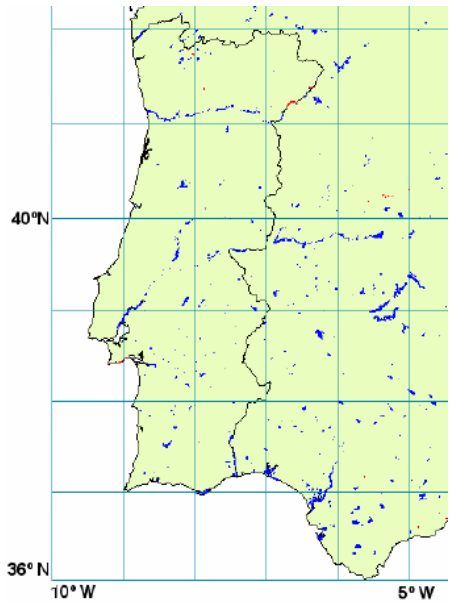
```
points(y=37.095753,x=-8.683319,col="white")
text(y=37.095753,x=-8.683319,"Lagos",col="white",pos=3)
```



Exercício 4: construir um mosaico de dados SRTM para Portugal Continental

Complete o código abaixo para criar um modelo digital de elevações SRTM que cubra o território continental portugês.

```
1  HTTP<-"http://dds.cr.usgs.gov/srtm/
       version2_1/SRTM3/Eurasia/"
2  for (tile in tiles)
3  {
4    nomezip<-paste0(tile,".hgt.zip")
5    download.file(url=paste0(HTTP,
         nomezip),destfile=nomezip,mode=
         "wb")
6    unzip(zipfile=nomezip)
7    srtm<-raster(paste0(tile,".hgt"))
8    if (tile==tiles[1]) mde<-srtm else
          mde<-merge(mde,srtm)
9  }
10 plot(mde)
```



Análise de dados com package `raster`: altimetria

O package `raster` contém a função `terrain` que permite derivar de um modelo digital de elevações um conjunto de variáveis tais como relevo, orientação, direcção de escoamento, índices de rugosidade do terreno, etc.

Por exemplo, a inclinação em radianos pode ser obtida com o seguinte comando (pode ser aplicado a um MDE em coordenadas geográficas desde que a elevação seja em metros):

```
1 inc<-terrain(srtm,opt="slope", units="radians", neighbors=8)
```

Os declives (%, tangente da inclinação) são dados por:

```
1 declives<-100*tan(values(inc)) # em %
2 range(declives,na.rm=TRUE) # devolve minimo e máximo
```

Exercício 5: determinar localização de valor máximo num raster

O objectivo do exercício é determinar numa imagem a localização do ponto com declive máximo.

Pretende determinar-se na imagem `srtm` usada atrás qual é a localização que tem o maior declive, e em seguida indicar essa localização sobre o mapa. Depois observa-se a imagem *Google Maps* para esse local para compreender a causa para esse valor elevado.

Determinar localização do declive máximo usando as coordenadas das células:

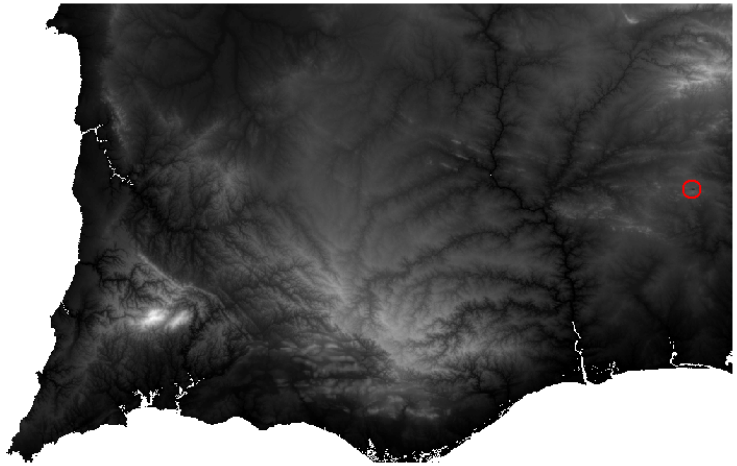
```
1 xyz<-cbind(coordinates(srtm),declives)
2 colnames(xyz)<-c("long","lat","declive")
3 # determina uma linha de xyz onde ocorre o declive máximo
4 loc.max<-xyz[which.max(declives),]
```

A matrix `xyz` calculada acima é muito útil para a análise de dados raster, pois combina coordenadas e valores das células. Para obter `xyz`, poderia ser usada em alternativa a função `raster::rasterToPoints`. Nota: `rasterToPoints` remove os NAs.

Análise de dados com package `raster`: Exercício (cont.)

Construir imagem e localizar ponto:

```
plot(srtm, xaxt="n", yaxt="n", box=
    FALSE, axes=FALSE, legend=FALSE,
    col=cores)
points(x=loc.max["long"],y=loc.max["
    lat"],col="red",cex=2)
```

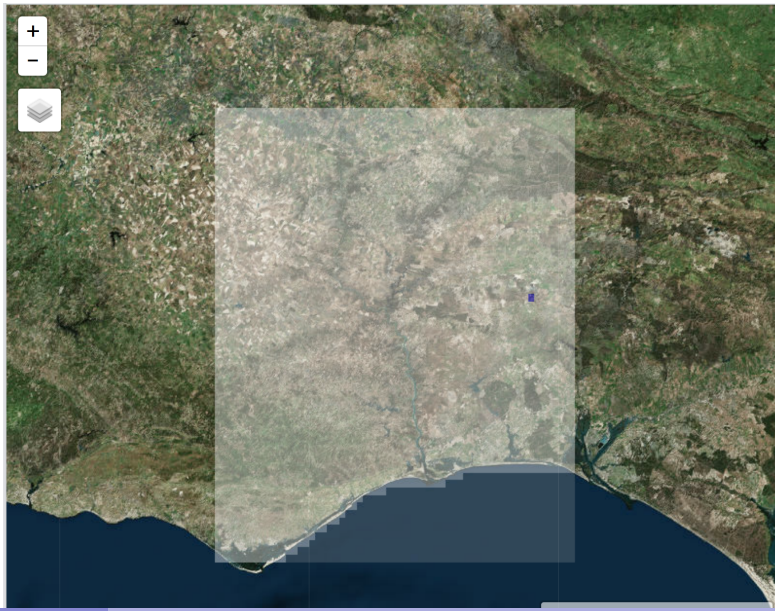


Alternativa: construir raster 0/1 em que 1 indica o pixel de inclinação máxima:

```
max01<- inc==cellStats(inc,max)
```

(Agregar e) observar com `mapview`:

```
mapview(max01,legend=TRUE,col=c("
    blue","white"),alpha=.4)
mapview(aggregate(max01,fact=10,fun=
    max),legend=TRUE,col=c("blue","
    white"),alpha=.4)
```



Análise de dados com package `raster`: `hillshade`

A função `raster::hillshade` permite calcular o coseno do ângulo de incidência, que mede a intensidade da luz incidente sobre uma superfície, dispondo de um modelo digital de elevações e sabendo a posição da fonte de iluminação (tipicamente o sol).

A iluminação depende de `slope` e `aspect`, que são respectivamente as imagens de inclinação e de orientação de encostas (ambos em radianos).

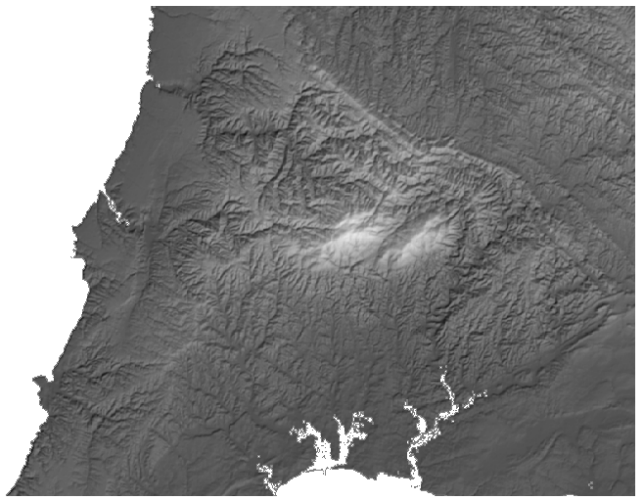
```
1 inc<-terrain(srtm,opt="slope", units="radians", neighbors=8)
2 orient<-terrain(srtm,opt="aspect", units="radians", neighbors
      =8)
3 ilumin<-hillShade(slope=inc, aspect=orient, angle=40, direction
      =150)
```

Os parâmetros `angle` e `direction` determinam a posição do sol. O primeiro é a elevação do sol relativamente ao horizonte (em graus) e o segundo é o azimute (em graus, medido no sentido dos ponteiros do relógio a partir de Norte).

Análise de dados com package `raster`: `hillShade`

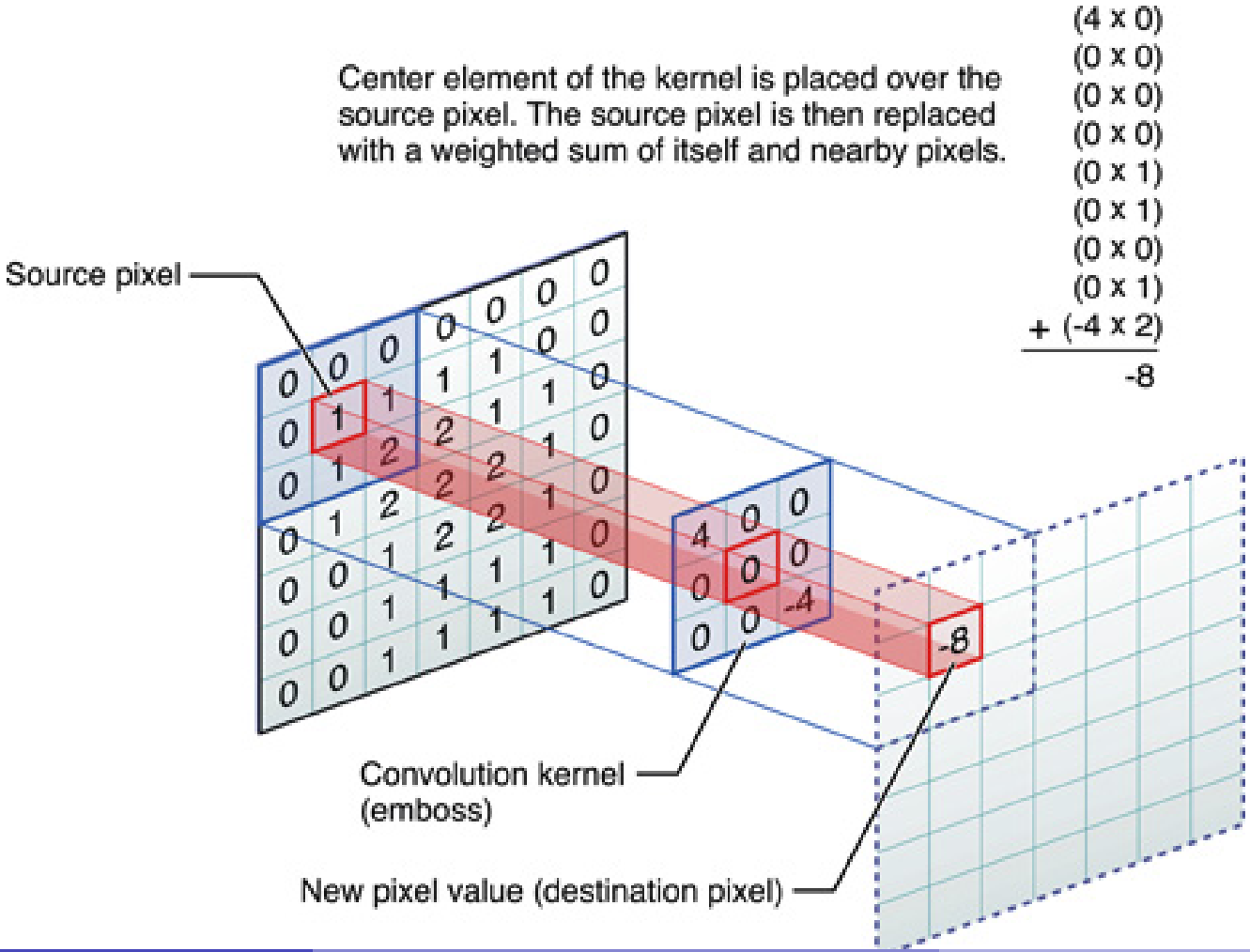
É habitual usar a imagem de iluminação para representar o relevo. Para isso combina-se uma imagem de iluminação com outra de elevações. A imagem de elevações é sobreposta, usando transparência, que é aqui definida pelo parâmetro `alpha` que varia entre 0 (totalmente transparente) e 1 (totalmente opaco).

```
1 extensao<-c(-9,-8.3,37.1,37.5)
2 plot(ilumin,ext=extensao,xaxt="n",
      yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE,
      legend=FALSE,col=cores)
3 plot(srtm,ext=extensao,xaxt="n",
      yaxt="n", box=FALSE, axes=FALSE,
      legend=FALSE,col=cores,add=TRUE,
      alpha=.5)
```



Análise de dados com package `raster`: filtros lineares

Um filtro linear é uma técnica de processamento de imagens que consiste em substituir cada célula da imagem por uma combinação linear dos valores das células vizinhas. O kernel define a vizinhança e os pesos.



Análise de dados com package `raster`: filtros lineares

Exemplo: derivar o declive usando filtros lineares em vez de `slope`:

1. Em primeiro é necessário re-projectar os dados para as distâncias horizontais serem em metros.
2. A diferença de cotas deve ser dividida pela resolução na direcção respectiva para obter a estimativa do declive;
3. O declive em cada direcção pode ser definido com os filtros abaixo, em que `Sx` é o declive estimado S_x na direcção W-E, e `Sy` é o declive estimado S_y na direcção S-N.

```
1 srtm.crop<-crop(srtm,extent(c(-8.7,-8.4,37.1,37.4))) #
    Monchique
2 srtm.etrs<- projectRaster(srtm.crop,crs=etrs) # para obter
    coordenadas em metros
3 Sx <- focal(srtm.etrs,w=matrix(c(-1,-2,-1,0,0,0,1,2,1)/(8*res(
    srtm.etrs)[1]),ncol=3))
4 Sy <- focal(srtm.etrs,w=matrix(c(1,0,-1,2,0,-2,1,0,-1)/(8*res(
    srtm.etrs)[2]),ncol=3))
5 declive <- sqrt(Sx^2+Sy^2)
```

Análise de dados com package `raster`: filtros não lineares

Como visto atrás, apesar da função `raster::terrain` ser conveniente, as opções `slope` e `aspect` podem ser definidas à custa de filtros lineares apropriados.

Outras opções de `terrain`, tais como `TPI`, `TRI`, `rough`, podem em alternativa ser obtidos pela aplicação de filtros não lineares à imagem:

```
f <- matrix(1, nrow=3, ncol=3)
# índice de rugosidade do terreno
TRI <- focal(srtm, w=f, fun=function(x, ...) sum(abs(x[-5]-x
    [5]))/8, pad=TRUE, padValue=NA)
# índice de posição topográfica
TPI <- focal(srtm, w=f, fun=function(x, ...) x[5] - mean(x[-5])
    , pad=TRUE, padValue=NA)
# amplitude das diferenças de elevação
rough <- focal(srtm, w=f, fun=function(x, ...) max(x) - min(x),
     pad=TRUE, padValue=NA, na.rm=TRUE)
```

É possivel alterar a dimensão e a expressão do filtro usando os parâmetros `w` e `fun`.

Análise de dados com package `raster`: filtros não lineares

Aplicar um filtro de moda ao raster binário `ndvi.etrs>0.4`.

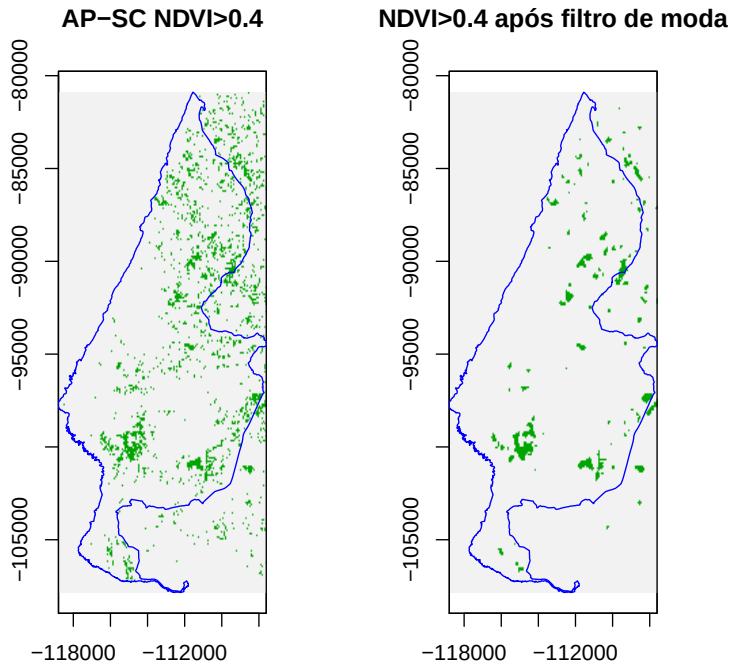
```
ndvi<-raster("ndviSintra.tif") #AP Sintra-cascais
# tamanho da janela do filtro
f<- matrix(1, nrow=3, ncol=3)
# focal é lento porque aplica a função modal pixel a pixel:
system.time(out <- focal(x=ndvi.etrs>.4, w=f, fun=modal, pad=
    TRUE, padValue=NA, na.rm=TRUE))
```

Nota: este tipo de filtro é tipicamente usado para remover efeito do tipo *salt-and-pepper* em mapas temáticos, isto é, mapas obtidos por classificação de uma imagem num conjunto de classes (e.g. mapa de ocupação do solo).

Análise de dados com package `raster`: filtros não lineares

Comparação da imagem com e sem aplicação do filtro de moda 3×3.

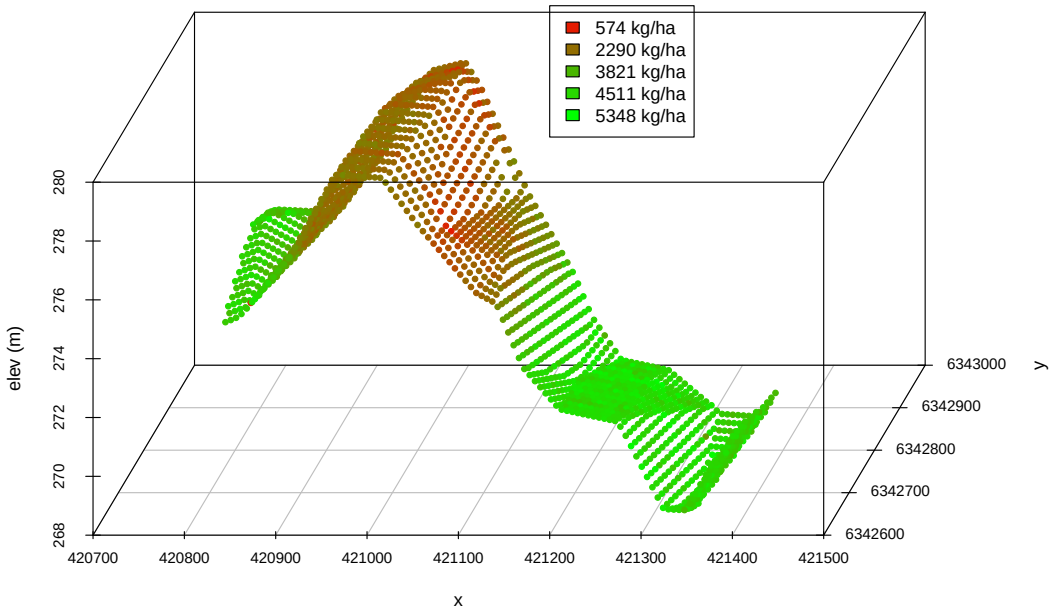
```
1 pdf(file="ndvi-maior-do-40-filtro-
      moda.pdf",width=6,height=6)
2 par(mfrow=c(1,2));
3 plot(ndvi.etrs>.4,main="AP-SC NDVI
      >0.4",legend=FALSE);
4 polygon(limite.ap,border="blue")
5 plot(out,main="NDVI>0.4 após filtro
      de moda",legend=FALSE);
6 polygon(limite.ap,border="blue")
7 graphics.off()
```



No código acima mostra-se como se pode criar uma figura em formato pdf (comando `pdf`) a partir do R. O comando `graphics.off()` fecha a ligação ao ficheiro. Caso se queira criar uma figura com formato png ou jpeg, o comando é `png` ou `jpeg` e os argumentos `width` e `height` devem ser multiplicados por 100.

Exercício: adicionar variáveis de relevo a observações pontuais

O ficheiro `lasrosas.txt` tem um conjunto de dados com variáveis: `LONGITUDE`, `LATITUDE`, `YIELD` (produção de milho em kg/ha) e `N` (aplicação de azoto em kg/ha). A correlação entre produção (YIELD) e quantidade de azoto aplicada (N) é fraca ($r = 0.078$). No entanto, é visível que a produção depende muito do relevo:



O objectivo do exercício é adicionar novas variáveis que dependem do relevo para conseguir explicar melhor a variabilidade da produção.

Exercício: sugestões para a resolução

1. Ler dados de altimetria para a localização dos dados (Argentina);
2. Recortar os dados para uma região envolvente da zona de estudo com *e.g.* `raster::crop`;
3. Derivar dos dados de altimetria, variáveis de relevo que sejam relevantes: declive, acumulação de água, orientação das encostas, radiação incidente (cuidado: o Sol está a Norte),... Para tal, pode usar *e.g.* `raster::terrain`, `raster::hillShade`, e `raster::focal`.
4. Interpolar os valores de cada variável sobre os 1705 pontos do ficheiro. Pode ser usada por exemplo a função `interp::interp` que realiza uma interpolação linear. Por exemplo,

```
interp(x,y,z,xo,yo,output = "points",duplicate="mean")$z
```

   devolve a interpolação dos `z` medidos nos pontos `x,y` para os pontos de coordenadas `xo,yo`.
5. Verificar que uma regressão múltipla de `YIELD` sobre `N` e as novas variáveis pode ter um R^2 elevado.

Índice