

Métricas da paisagem

Darren Norris

2022-10-16

Sumário

1	Apresentação	2
2	Código e R	2
2.1	Organização do código no tutorial	3
3	Métricas da paisagem e pacote “landscapemetrics”	4
3.0.1	Pergunta 1	4
3.1	Pacotes	5
4	Dados	6
4.1	Exibir dados raster e sobreposição com locais de amostragem	6
5	Cálculo de métricas	8
5.1	Ponto único, raio único, métrica única	8
5.1.1	Pergunta 2	9
5.2	Ponto único, distâncias variadas, métrica única	10
5.2.1	Faça um gráfico	13
5.2.2	Pergunta 3	14
5.2.3	Faça um gráfico elegante	15
5.2.4	Pergunta 4	15
5.2.5	Modelos linear e não linear	16
5.2.6	Pergunta 5	16
5.3	Ponto único, distâncias variadas, métricas variadas	18
5.3.1	Pergunta 6	21
5.3.2	Pergunta 7	21

1 Apresentação

As métricas da paisagem nos ajudam a entender as mudanças na paisagem de diferentes perspectivas (visual, ecológica, cultural). Assim sendo, análises com métricas de paisagem é uma atividade fundamental na ecologia da paisagem. Nesta aula aprenderemos sobre como analisar a cobertura da terra com métricas de paisagem em R. As técnicas serão ilustradas através de cálculos usando a cobertura florestal ao redor do Rio Araguari. Ao longo do caminho, revisaremos modelos lineares e não lineares, aprenderemos sobre manipulação de dados em R e aprenderemos como criar gráficos com o pacote ggplot2.

Durante a aula você aprenderá a:

- Importar e plotar dados raster em R e sobrepor locais de amostragem.
- Calcular métricas de paisagem.
- Extrair dados de paisagem em locais de amostragem e dentro de um buffer ao redor deles.

2 Código e R

Objetivo não é de apresentar detalhes sobre os métodos ou as funções no R. Existem diversos exemplos disponíveis, por exemplo:

- livros online:
 - [Introdução ao R](#) curso de capacitação para servidores do Tribunal de Contas do Estado da Paraíba.
 - [Ciência de Dados com R](#) desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Pesquisa e Análise de Dados (IBPAD).
 - [Ciência de Dados em R](#) desenvolvido durante Cursos de Verão do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME-USP).
 - [Análises Ecológicas no R](#) desenvolvidos pelos professores durante aulas de graduação e cursos de pós-graduação nas universidades de UNESP, UFSCAR, UFRPE, UFMS, e UFRN.
- Com Google “r cran introdução tutorial”.... onde tem mais de 50 mil resultados com exemplos, imagens e vídeos
- Grupos de ajuda, como por exemplo:
 - [R Brasil](#)
 - [Stack Overflow em Português](#)

O objetivo é de apresentar um tutorial mostrando as capacidades e opções para desenvolver e integrar pesquisas de ecologia da paisagem no ambiente estatístico de R

Porque usar R? R tem a capacidade (baseada em código) para alternar entre tarefas de processamento, modelagem e visualização de dados geográficos e não geográficos. Além disso, como é possível importar, modificar, analisar e visualizar dados espaciais no mesmo ambiente com script/código, o R permite fluxos de trabalho transparentes e reproduzíveis ([A Ciência Aberta](#)).

Aliás, atualmente a grande maioria dos artigos científicos publicados na revista [Landscape Ecology](#) inclui análises usando R.

2.1 Organização do código no tutorial

O tutorial está organizado em etapas de processamento, com blocos de código em caixas cinzas:

```
codigo de R para executar
```

Para seguir os passos, os blocos de código precisam ser executados em sequência. Se você pular uma etapa, ou rodar fora de sequência o próximo bloco de código provavelmente não funcionará.

As linhas de código de R dentro de cada caixa também precisam ser executados em sequência. O símbolo `#` é usado para incluir comentários sobre os passos no código. Ou seja, linhas começando com `#` são ignorados por R, e não é código de executar.

```
# Passo 1
codigo de R passo 1 # texto e numeros tem cores diferentes
# Passo 2
codigo de R passo 2
# Passo 3
codigo de R passo 3
```

Além disso, os símbolos `#>` e/ou `[1]` no início de uma linha indica o resultado que você verá no console de R depois de rodar o código, como no próximo exemplo. Digite o código abaixo e veja o resultados (passos 1 a 4).

```
# Passo 1
1+1
```

```
[1] 2
```

```
# Passo 2
x <- 1+1
# Passo 3
x
```

```
[1] 2
```

```
# Passo 4
x + 1
```

```
[1] 3
```

3 Métricas da paisagem e pacote “landscapemetrics”

As métricas de paisagem são a forma que os ecólogos de paisagem usam para descrever os padrões espaciais de paisagens para depois avaliar a influência destes padrões espaciais nos padrões e processos ecológicos.

landscapemetrics é um pacote R para calcular métricas de paisagem em paisagens categóricas (onde tem uma classificação de cobertura de terra/habitat), em um fluxo de trabalho organizado. O pacote pode ser usado como um substituto do FRAGSTATS (McGarigal et al. 1995, <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>), pois oferece um fluxo de trabalho reproduzível para análise de paisagem em um único ambiente (Professor McGarigal se aposentou, então o software original não é mais suportado). **landscapemetrics** também permite cálculos de quatro métricas teóricas de complexidade da paisagem: entropia marginal, entropia condicional, entropia conjunta e informação mútua (Nowosad e Stepinski 2019 <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00830-x>).

Nesse pacote o formato geral para uma função é o seguinte “lsm_nível_métrica”:

- A primeira parte é sempre lsm_ (“landscapemetric”), seguida do “nível_” e por fim a “métrica”. Ou seja, todas as funções que calculam métricas começam com lsm_
- Daí você deve incluir o nível da análise “p” para patch (ou seja, para a mancha ou fragmento), “c” para classe e “l” para landscape ou seja, para métricas para a paisagem como um todo.
- E daí existem inúmeras métricas, como por exemplo a **cpland** que é o percentual de área central - “core area” na paisagem, como vimos na aula teórica. Assim sendo, a função **lsm_c_cpland** vai calcular a métrica porcentagem da área central em cada classe.

Digite o código abaixo e veja o resultado. Leia com atenção e preste particular atenção na organização da página de ajuda.

```
library(landscapemetrics)
?landscapemetrics
```

No final da página você vai encontrar a palavra “Index”. Clique nela e você verá todas as funções do pacote. Desça até as lsm_ . . . e clique em algumas delas ali. Explorar! Para listar todas as métricas disponíveis, você pode usar a função **list_lsm()** . A função também permite mostrar métricas filtradas por nível, tipo ou nome da métrica. Para obter mais informações sobre as métricas, consulte os arquivos de ajuda correspondentes ou <https://r-spatialecology.github.io/landscapemetrics>.

Digite o código abaixo e veja o resultados, mostrando exemplos das métricas diferentes.

```
# métricas de agregação, nível de fragmento
landscapemetrics::list_lsm(level = "patch", type = "aggregation metric")
# métricas de agregação, nível de classe
landscapemetrics::list_lsm(level = "class", type = "aggregation metric")
#
landscapemetrics::list_lsm(metric = "area")
# ajudar com opções da função
?landscapemetrics::list_lsm
```

3.0.1 Pergunta 1

Descreva brevemente 2 métricas de cada nível usando ajudar (usando ? e/ou list_lsm) e/ou a leitura disponível no Google Classroom (Base teórica 4 Dados, métricas, análises). Incluindo na descrição - o nome, porque serve, unidades de medida, e relevância ecológica.

3.1 Pacotes

Além do “landscapemetrics”, precisamos carregar alguns pacotes a mais para facilitar a organização e apresentação de dados espaciais (vector e raster) e os resultados.

Carregar pacotes (que deve estar instalado antes):

```
library(tidyverse)
library(sf)
library(terra)
library(tmap)
library(gridExtra)
library(kableExtra)
library(mgcv)
```

4 Dados

Existem varias formas de importar e exportar dados geoespaciais. Aqui, precisamos o arquivo com os dados de MapBiomias “amostra_mapbiomas_2020.tif”, que voces baixaram no tutorial anterior (você pode baixar novamente seguindo tutorial Escala <https://rpubs.com/darren75/escala>). Nós podemos carregar os dados de cobertura da terra “amostra_mapbiomas_2020.tif” com a função rast.

```
# Selecionar e carregar arquivo "amostra_mapbiomas_2020.tif"
mapbiomas_2020 <- rast(file.choose())
# criar uma nova camada de floresta
floresta_2020 <- mapbiomas_2020
# Com valor de 0
values(floresta_2020) <- 0
# Atualizar categorias florestais agrupados com valor de 1
floresta_2020[mapbiomas_2020==3 | mapbiomas_2020==4] <- 1
```

Plotar para verificar, incluindo nomes e os cores para classes de floresta (valor = 1) e não-floresta (valor = 0).

```
# Passo necessario para agilizar o processamento
floresta_2020_modal <- aggregate(floresta_2020, fact=10, fun="modal")
# Plot
tm_shape(floresta_2020_modal) +
  tm_raster(style = "cat",
            palette = c("0" = "#E974ED", "1" = "#129912"), legend.show = FALSE) +
  tm_add_legend(type = "fill", labels = c("não-floresta", "floresta"),
               col = c("#E974ED", "#129912"), title = "Classe") +
  tm_layout(legend.bg.color = "white")
```

Se esta todo certo, voces devem ter uma imagem parcida como o segunite:

4.1 Exibir dados raster e sobreposição com locais de amostragem

Agora temos a paisagem, precisamos tambem os pontos de amostra. Por isso, precisamos carregar os dados de rios e pontos de amostragem que usamos no tutorial Escala - arquivo “rivers.GPKG”. Vamos carregar as camadas que voces baixaram no tutorial anterior. Selecionando o arquivo “rivers.GPKG”, e carregando primeiramente a camadas “midpoints” e depois “centerline”.

No exemplo, usamos %>%, que estabelece a ligação entre os passos do processo. Ou seja, %>% passa o objeto resultante automaticamente para a próxima função como primeiro argumento. Primeiramente carregamos os dados e em seguida converter as coordenadas para o mesmo sistema de referência que o arquivo raster (com a função st_transform).

```
# Selecionar o arquivo "rivers.GPKG",
meuSIG <- file.choose()
# Carregar pontos cada 5 km, camada midpoints
rsm_31976 <- sf::st_read(meuSIG, layer = "midpoints") %>%
  st_transform(31976)
# Carregar linha central de rios, camada centerline
rsl_31976 <- sf::st_read(meuSIG, layer = "centerline") %>%
  st_transform(31976)
```

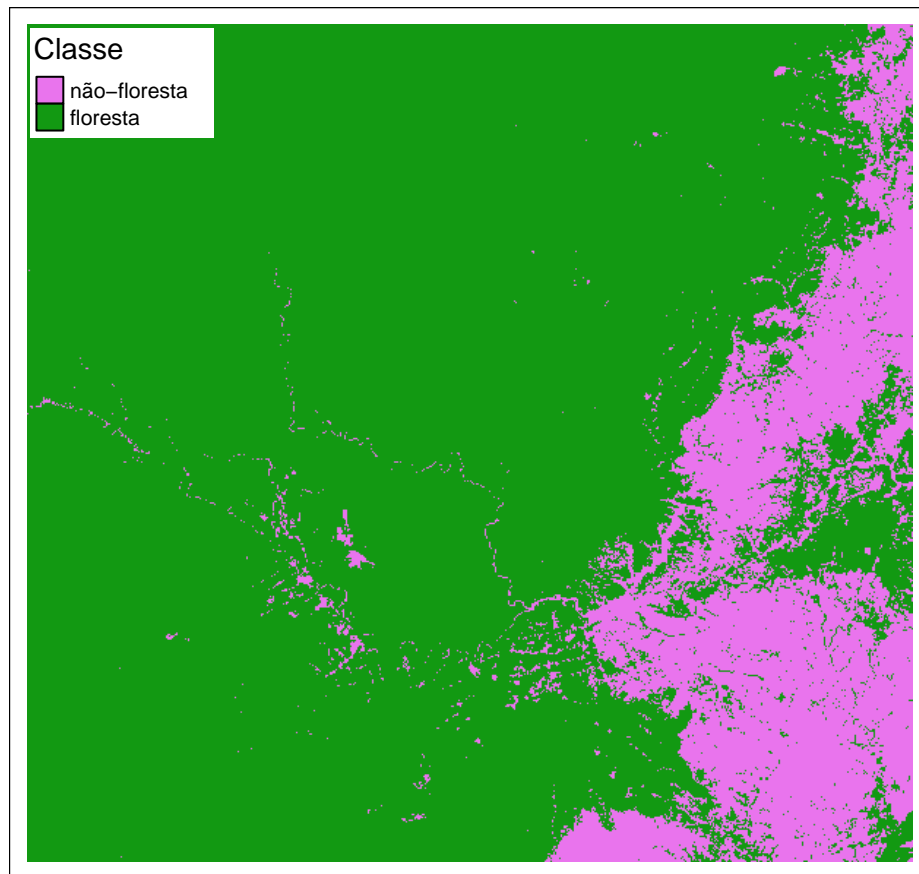


Figura 4.1: Floresta ao redor do Rio Araguari. MapBiomias 2020 reclassificado em floresta e não-floresta.

Visualizar para verificar.

```
# Passo necessario para agilizar o processamento
floresta_2020_modal<-aggregate(floresta_2020, fact=10, fun="modal")
# Plot
tm_shape(floresta_2020_modal) +
  tm_raster(style = "cat",
            palette = c("0" = "#E974ED", "1" = "#129912"), legend.show = FALSE) +
  tm_add_legend(type = "fill", labels = c("não-floresta", "floresta"),
               col = c("#E974ED", "#129912"), title = "Classe") +
tm_shape(rsl_31976) +
  tm_lines(col="blue") +
tm_shape(rsm_31976) +
  tm_dots(size = 0.2, col = "yellow") +
tm_layout(legend.bg.color="white")
```

Depois de executar (“run”) o código acima, você deverá ver a figura a seguir.

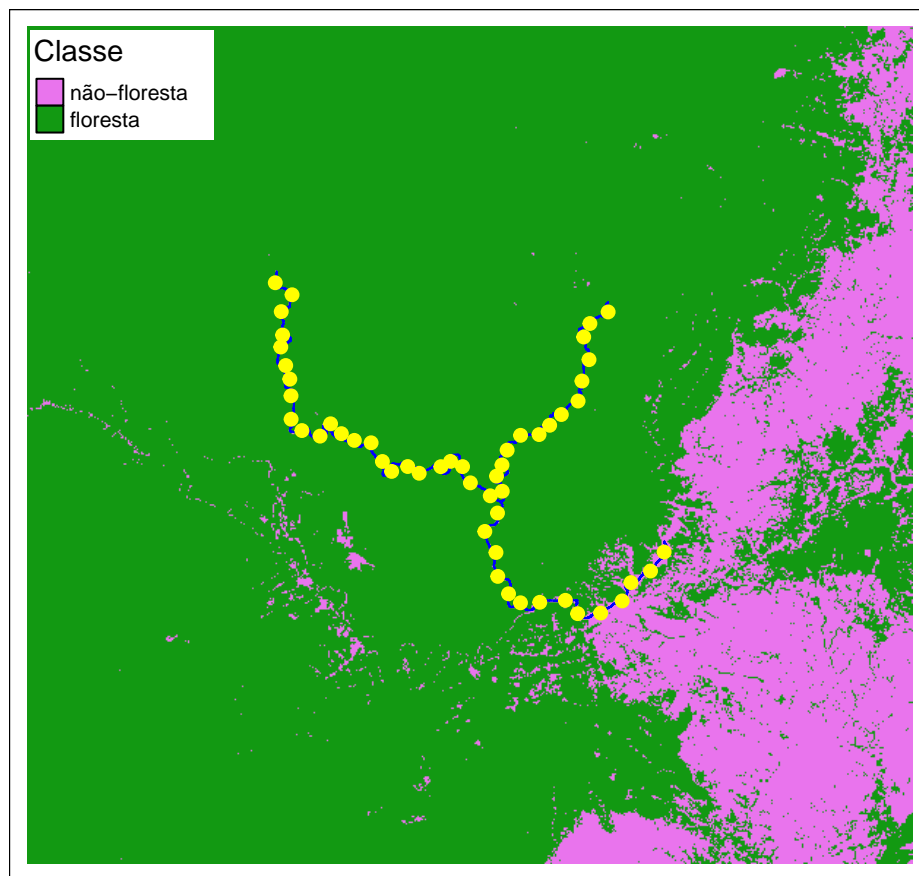


Figura 4.2: Cobertura da terra ao redor do Rio Araguari em 2020. Mostrando os pontos de amostragem (pontos amarelas) cada 5 quilômetros ao longo do rio (linha azul).

5 Calculo de métricas

Para ilustrar como rodar as funções e cálculos com `landscapemetrics`, vamos calcular a área central na paisagem que usamos no tutorial de Escala. Vamos estudar uma classe (floresta), portanto vamos incluir as métricas para nível de classe. Além disso, as métricas de paisagem em nível de classe são mais eficazes na definição de processos ecológicos (Tischendorf, L. Can landscape indices predict ecological processes consistently?. *Landscape Ecology* 16, 235–254 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1011112719782>).

Para calcular as métricas de paisagem dentro de um certo buffer em torno de pontos de amostra, existe a função `sample_lsm()`. Através da função `sample_lsm()` podemos calcular mais de 50 métricas da paisagem, dentro de extensões diferentes.

5.1 Ponto único, raio único, métrica única

Métricas de área central (“core area”) são consideradas medidas da qualidade de habitat, uma vez que indica quanto existe realmente de área efetiva de um fragmento, após descontar-se o efeito de borda. Vamos calcular a percentual de área central (“core area”) no entorno de um ponto de amostragem. Isso seria, a percentual de áreas centrais (excluídas as bordas de 30 m) de cada classe em relação à área total da paisagem.

Para a função `sample_lsm()` funcionar, precisamos informar (i) a paisagem (arquivo de raster), (ii) ponto (vector), (iii) raio, (iv) forma do buffer (círculo ou quadrado) e por final (v) a métrica desejada.

```
minha_amostra_1000 <- sample_lsm(landscape = floresta_2020,  
                                y = rsm_31976[1, ],  
                                size = 1000, shape = "circle",  
                                metric = "cpland",  
                                edge_depth = 1)
```

Depois que executar (“run”), podemos olhar os dados com o código a seguir.

```
minha_amostra_1000
```

Os dados deve ter os valores:

layer	level	class	id	metric	value	plot_id	percentage_inside
1	class	0	NA	cpland	66.94191	1	99.9608
1	class	1	NA	cpland	19.07745	1	99.9608

5.1.1 Pergunta 2

O modelo mancha-corredor-matriz é frequentemente adotado na ecologia da paisagem. Com base nas aulas teóricas e usando os valores no objeto `minha_amostra_1000` apresentados na tabela acima, identificar qual classe representar a matriz na paisagem. Há alguma informação faltando que limita a sua capacidade de identificar qual classe representar a matriz? Se sim, o que precisa ser adicionado? Justifique as suas respostas de forma clara e concisa.

5.2 Ponto único, distâncias variados, métrica única

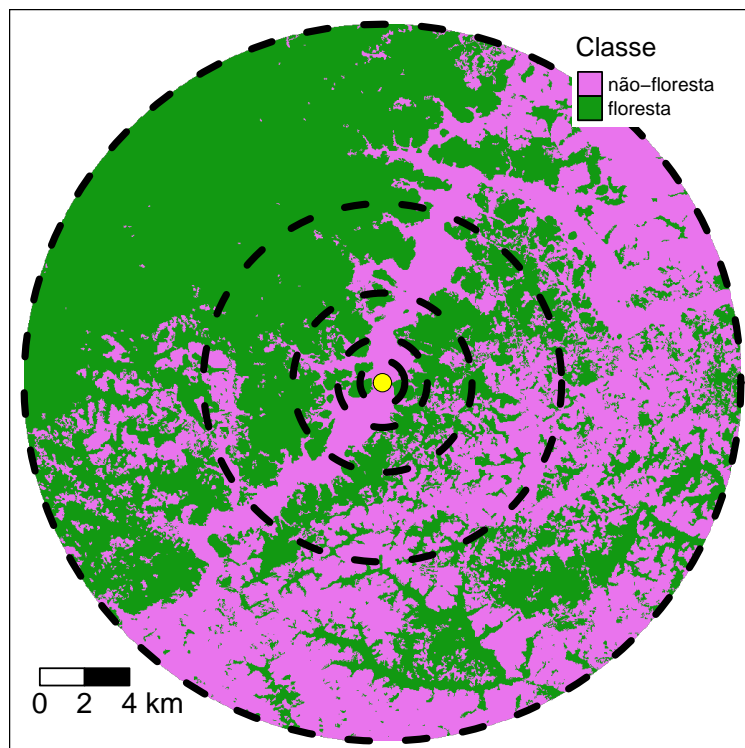


Figura 5.1: Cobertura florestal em extensões diferentes ao redor de um ponto de amostragem.

Para uma comparação multiescala, vamos calcular a mesma métrica, no mesmo ponto, mas agora com extensões diferentes. Continuando o exemplo no tutorial anterior (Escala), vamos repetir o mesmo processo, mas agora com raios de 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 e 16000 metros, dobrando a escala (extensão) em cada passo.

Para obter resultados com extensões diferentes, precisamos primeiramente repetir o código, ajustando para cada extensão, e depois juntar os resultados. O código a seguir calculará a mesma métrica para as diferentes distâncias. No exemplo, usamos `%>%`, que estabelece a ligação entre os passos do processo. Neste caso, para incluir uma coluna nova (`raio`) para manter o valor das diferentes distâncias.

```
# raio 250 metros
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
           size = 250, shape = "circle",
           metric = "cpland") %>%
  mutate(raio = 250) -> minha_amostra_250
# raio 500 metros
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
           size = 500, shape = "circle",
           metric = "cpland") %>%
  mutate(raio = 500) -> minha_amostra_500
# raio 1 km (1000 metros)
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
           size = 1000, shape = "circle",
           metric = "cpland") %>%
  mutate(raio = 1000) -> minha_amostra_1000
# raio 2 km
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
           size = 2000, shape = "circle",
           metric = "cpland") %>%
  mutate(raio = 2000) -> minha_amostra_2000
# raio 4 km
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
           size = 4000, shape = "circle",
           metric = "cpland") %>%
  mutate(raio = 4000) -> minha_amostra_4000
# raio 8 km
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
           size = 8000, shape = "circle",
           metric = "cpland") %>%
  mutate(raio = 8000) -> minha_amostra_8000
# raio 16 km
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
           size = 16000, shape = "circle",
           metric = "cpland") %>%
  mutate(raio = 16000) -> minha_amostra_16000
```

E agora, o código a seguir juntará os resultados das diferentes extensões.

```
bind_rows(minha_amostra_250,  
          minha_amostra_500,  
          minha_amostra_1000,  
          minha_amostra_2000,  
          minha_amostra_4000,  
          minha_amostra_8000,  
          minha_amostra_16000) -> amostras_metrica
```

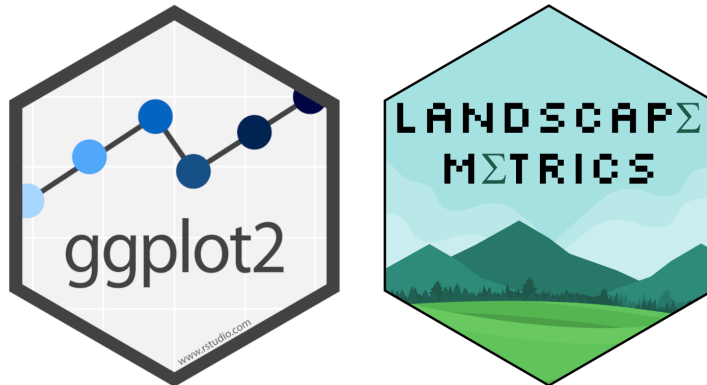
Depois que executar (“run”), podemos olhar os dados “amostras_metrica” com o código a seguir.

```
amostras_metrica
```

Os dados deve ter os valores (coluna value) da métrica (coluna metric) de cada classe (coluna class) para cada distância (coluna raio):

layer	level	class	id	metric	value	plot_id	percentage_inside	raio
1	class	0	NA	cpland	79.4	1	99	250
1	class	0	NA	cpland	86.9	1	100	500
1	class	1	NA	cpland	0.7	1	100	500
1	class	0	NA	cpland	66.9	1	100	1000
1	class	1	NA	cpland	19.1	1	100	1000
1	class	0	NA	cpland	57.6	1	100	2000
1	class	1	NA	cpland	26.9	1	100	2000
1	class	0	NA	cpland	36.2	1	100	4000
1	class	1	NA	cpland	42.2	1	100	4000
1	class	0	NA	cpland	35.8	1	100	8000
1	class	1	NA	cpland	45.4	1	100	8000
1	class	0	NA	cpland	37.1	1	100	16000
1	class	1	NA	cpland	46.3	1	100	16000

5.2.1 Faça um gráfico



Uma imagem vale mais que mil palavras. Portanto, gráficos/figuras/imagens são uma das mais importantes formas de comunicar a ciência. Os dados apresentados em uma tabela podem ser difíceis de entender. Portanto, a primeira pergunta que você deve se fazer é se você pode transformar aquela tabela (chata e feia) em algum tipo de gráfico. Lembrando, sempre pode incluir a tabela como anexo.

Aqui, vamos fazer um gráfico com os dados `amostras_metrice`, usando o pacote `ggplot2`.

O `ggplot2` faz parte do conjunto `tidyverse`, e é um pacote de visualização de dados. “gg” se refere a uma gramática de gráficos. A ideia principal é criar um gráfico como se fosse uma frase de uma língua, onde cada elemento do gráfico seria uma palavra, organizados em uma sequência lógica para construir uma frase completa (gráfico final). Você fornece os dados, informa ao `ggplot2` como mapear variáveis para estética, quais tipos/formatos gráficos usar e ele cuida dos detalhes.

Isto nos permite construir gráficos tão complexos quanto quisermos. Os gráficos criados com `ggplot2` são, em geral, mais elegantes do que os gráficos tradicionais do R. Para mais exemplos e tutoriais com mais detalhes veja os capítulos sobre `ggplot2` nos livros:

- [Ciência de Dados com R](#)
- [Análises Ecológicas no R](#)
- No livro em inglês [R Graphics Cookbook](#).
- E sempre pode buscar exemplos no Google, por exemplo digitando: `ggplot2` gráfico de barra no Google, tem mais de 50 mil resultados com páginas de imagens, código pronto e exemplos no YouTube.

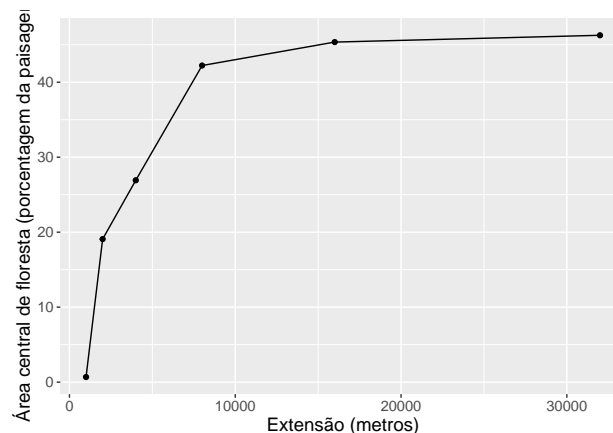
O `ggplot2` exige que os dados a serem plotados estejam em um “dataframe” ([tabela de dados](#)). Ou seja, sempre teremos que transformar os dados para dataframe ou construir um dataframe com os dados que possuímos. Dataframe é um formato comum e fácil de trabalhar. Por exemplo, se você importar uma planilha de dados, o resultado seria como dataframe (para mais detalhes veja [Estrutura e manipulação de objetos](#) e [lendo dados](#)). Além disso, o resultado das funções de `landscapemetrics` é sempre um dataframe, ou seja os resultados da função `sample_lsm()` são prontos para um gráfico.

O principal função a ser utilizado é `ggplot()`. Para `ggplot`, precisamos os dados (dataframe), e depois cria o “mapeamento” das variáveis, normalmente usando `aes` (de aesthetics). Ou seja, você especifica quais são as variáveis dos eixos x e y dentro de `aes()`. Através dele vamos definir qual é a variável preditora/explanadora (eixo x) e qual é a variável resposta (eixo y) em nosso conjunto de dados. Depois da função `ggplot()`, na sequencia no código nós especificamos qual tipo de gráfico com um “geom”. Por exemplo, `geom_point()` para plotar pontos, `geom_boxplot()` para um boxplot, etc. Para a lista completa de geoms e todas as outras opções do pacote, visite a página do projeto `ggplot2` <https://ggplot2.tidyverse.org/index.html>.

Aqui vamos fazer um gráfico com valores de extensão no eixo x e proporção da floresta central no eixo y. Assim sendo, com o código a seguir, vamos informar (i) os dados, selecionando classe de floresta através de um filtro e acrescentando uma coluna nova (“ext_m”) com a extensão em metros, (ii) as colunas para os eixos x e y, (iii) tipo de gráfico (gráfico de pontos - `geom_point()` e gráfico de linha - `geom_line()`), (iv) nomes para os eixos. No exemplo, usamos `%>%`, que estabelece a ligação entre os passos do processo, ligando os dados (`amostras_metrica`) e o gráfico `ggplot`. Note que no código a seguir, adicionamos um geom com um “+”. No `ggplot2`, nós criamos gráficos em camadas, e adicionamos camada a camada com um “+”. Assim, é possível ajustar qualquer elemento do gráfico.

```
# arrumar os dados
amostras_metrica %>%
  filter(class==1) %>% mutate(ext_m = 2*raio) %>%
# fazer o grafico
ggplot(aes(x=ext_m, y=value)) +
  geom_point() + geom_line() +
  labs(x = "Extensão (metros)",
       y = "Área central de floresta (porcentagem da paisagem)")
```

Depois de executar (“run”) o código acima, você deverá ver o gráfico a seguir.



5.2.2 Pergunta 3

Em vez de extensão, você precisa incluir o tamanho (área do círculo) correspondente a cada raio. Incluir uma cópia do código ajustado para produzir uma figura com tamanho (área em quilômetros quadrados) no eixo x.

5.2.3 Faça um gráfico elegante

Podemos ajustar qualquer elemento do gráfico com ggplot2. Agora, vamos mudar as unidades de metros para quilômetros, aumentar o tamanho dos pontos, incluir uma linha reta para ilustrar a tendência geral, colocar o título longo do eixo y em duas linhas, e aumentar o tamanho da fonte para o texto ficar mais claro.

```
# arrumar os dados
amostras_metrice %>%
  filter(class==1) %>%
  mutate(ext_m = 2*raio,
         ext_km = (2*raio)/1000) %>%
# fazer o grafico
ggplot(aes(x=ext_km, y=value)) +
  geom_point(size = 4) +
  geom_line() +
  stat_smooth(method = "lm", se = FALSE, color = "green",
             linetype = "dashed") +
  labs(x = "Extensão (quilômetros)",
       y = "Área central de floresta\n(percentagem da paisagem)") +
  theme(text = element_text(size = 18))
#> `geom_smooth()` using formula 'y ~ x'
```

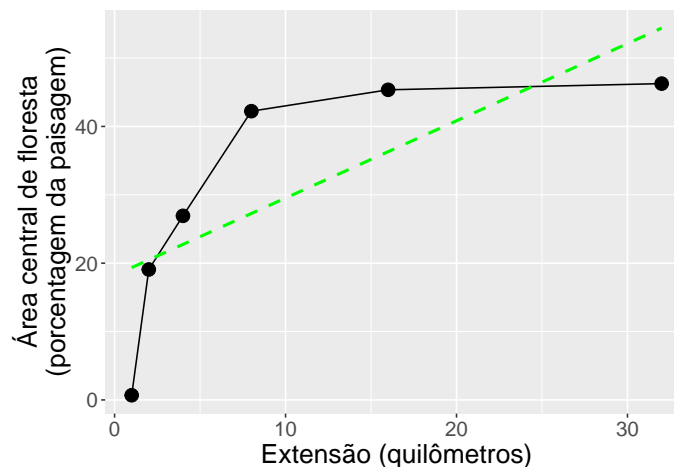


Figura 5.2: Comparação da área central de floresta em diferentes extensões.

5.2.4 Pergunta 4

Em menos de 200 palavras apresente a sua interpretação do gráfico em figura 5.2.

5.2.5 Modelos linear e não linear

Um dos desafios mais frequentes é como melhor representar os dados observados para gerar evidências científicas robustas e informações confiáveis. Nós vimos que as mudanças na métrica porcentagem de área central de floresta não segue uma linha reta em relação de escala (extensão). Para ir além de uma descrição simplista dos padrões observados, na ecologia da paisagem uma variedade de modelos estatísticos são usados. Não vamos rodar modelos (ainda), mas é importante entender algumas das opções disponíveis ao interpretar os gráficos.

Por exemplo, modelos de regressão são amplamente usados em diversas aplicações para descrever a relação entre uma variável resposta Y e uma variável explicativa x . Os modelos lineares são uma generalização dos testes de hipótese clássicos mais simples ([Modelos linear](#) e [Modelos lineares](#)). Uma regressão linear, só pode ser aplicada para dados em que tanto a variável preditora quanto a resposta são contínuas, enquanto uma análise de variância é utilizada quando a variável preditora/explicativa é categórica. Os modelos lineares generalizados não têm essa limitação, podemos usar variáveis contínuas ou categóricas indistintamente ([Modelos Lineares Generalizados](#)).

Mas, no caso de padrões ecológicos, será que um modelo linear é o melhor modelo para representar a relação que explica “ y ” em função de “ x ”? Um número crescente de pesquisadores compartilham o sentimento de que as relações entre variáveis biológicas/ecológicas são melhores descritas por funções não lineares. Processos ecológicos (como por exemplo crescimento, mortalidade, dispersão, e competição) raramente são relacionadas linearmente às variáveis explicativas.

A principal vantagem do modelo não linear sobre o linear é que 1) sua escolha está associada ao conhecimento prévio sobre a relação a ser modelada e 2) geralmente apresenta interpretação prática para os parâmetros. Em modelos não-lineares dados observados de uma variável resposta são descritos por uma função de uma ou mais variáveis explicativas que é não linear seus parâmetros. Assim como nos modelos lineares o objetivo é identificar e estabelecer a relação entre variáveis explicativas e resposta. Entretanto, enquanto os modelos lineares definem, em geral, relações empíricas/teóricas, os modelos não-lineares são, em grande parte das vezes, motivados pelo conhecimento do tipo de relação entre as variáveis. Desta forma, as aplicações surgem nas diversas áreas onde relações físicas, biológicas, cinéticas, químicas, fisiológicas, dentre outras, são estabelecidas por funções não lineares que devem ter coeficientes (parâmetros) identificados (estimados) a partir de dados observados, dados experimentais e/ou dados simulados.

Como as mudanças na estrutura da paisagem caracterizam-se por serem não-lineares, para desenvolver análises estatísticas robustas pode (i) aplicar uma transformação (por exemplo, “log”) ou (ii) adotar modelos não-lineares.

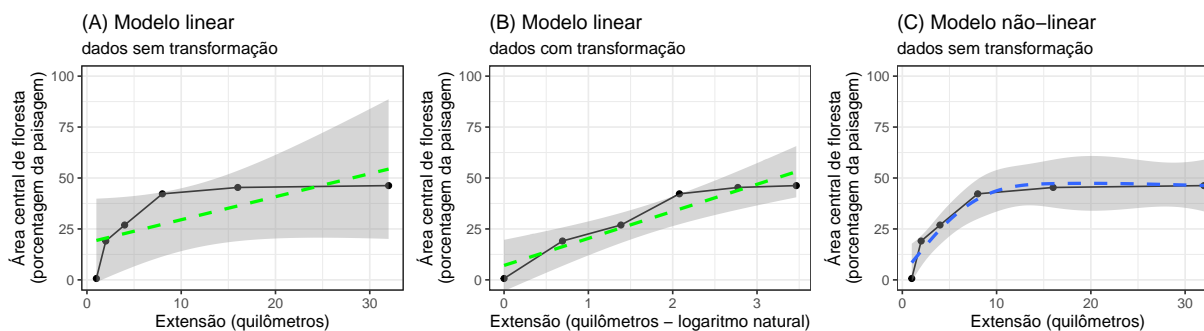


Figura 5.3: Comparação de padrões lineares e não-lineares.

5.2.6 Pergunta 5

Comparar os resultados apresentados nas figuras com modelos lineares e não-lineares. Como podemos estabelecer qual seria o melhor modelo? Qual modelo seria mais adequado para

identificar limiares no padrão de área central de floresta?

5.3 Ponto único, distâncias variados, métricas variadas

No exemplo anterior comparamos uma métrica da paisagem em torno de um único ponto de amostragem. Mas sabemos que uma combinação de várias métricas de paisagem diferentes é necessária para entender os padrões na paisagem. Aqui mostraremos como incluir cálculos de diferentes métricas de paisagem ao mesmo tempo.

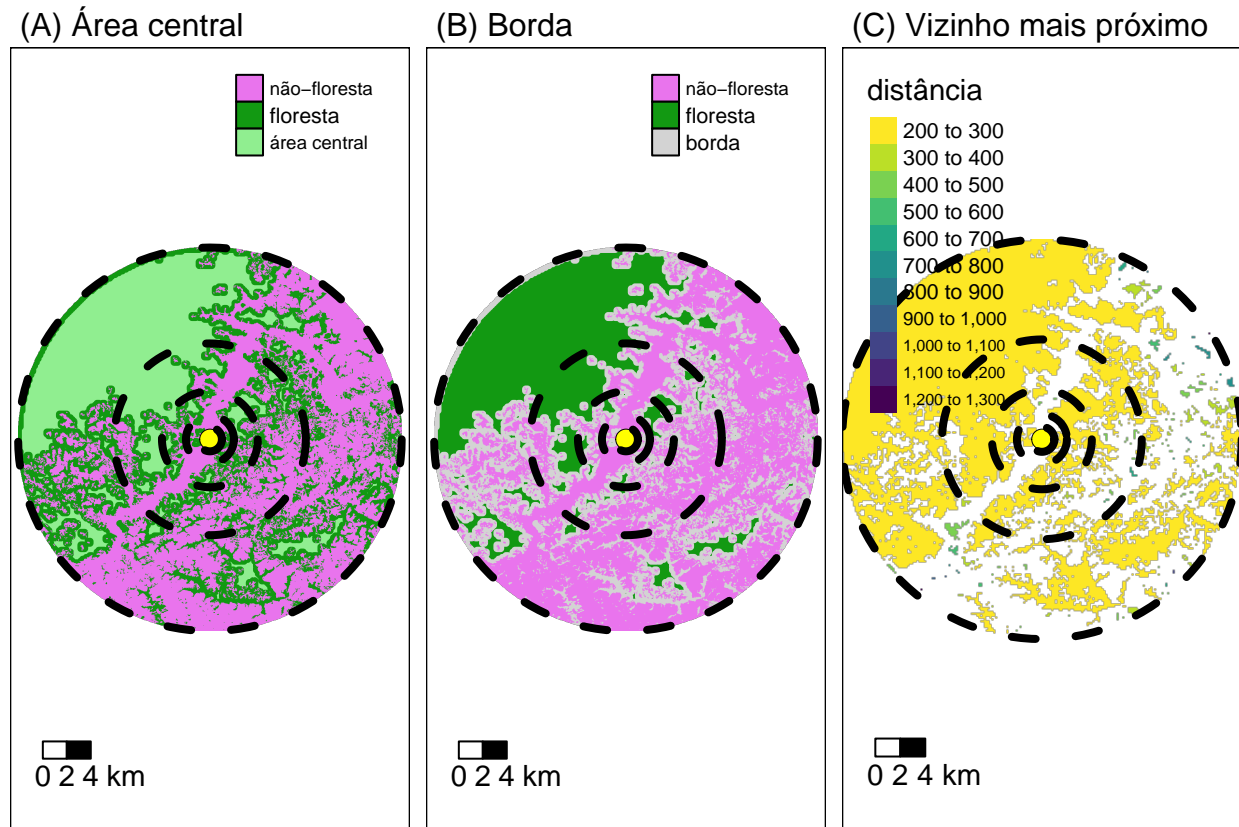


Figura 5.4: Ilustração da determinação de métricas da paisagem diferentes ao redor de um ponto. Exemplo com a estrutura da paisagem representado com três características (A) Área central, (B) Borda e (C) Vizinho mais próximo. O habitat de interesse (classe) é isolado. Um buffer (linha tracejada) é colocado ao redor de um ponto (amarela) e as métricas calculadas. E em seguida o processo é repetido em diferentes extensões.

Não deve calcular todas as métricas disponíveis, mas sim, escolher aquelas que podem ser realmente adequadas para sua pergunta de pesquisa.

Calculando todas as métricas se chama um “tiro no escuro”, algo cujo resultado se desconhece ou é imprevisível. Isso não é recomendado. Para fazer uma escolha melhor (mais robusta), seguindo princípios básicos da ciência, precisamos ler os estudos anteriores (artigos) para obter as métricas mais relevantes para nosso objetivo, pergunta e/ou a hipótese a ser testada. Aqui, como exemplo ilustrativa vamos calcular alguns das métricas mais comuns. Mas, isso não representa necessariamente as métricas mais adequados ou recomendadas.

- Métricas de área e borda (area and edge metrics). Quantificam a composição da paisagem:
 - `pland` = percentage of landscape. Porcentagem da paisagem. Porcentagem de cobertura da classe na paisagem.
 - `ed` = edge density . Densidade de borda que é igual à soma dos comprimentos (m) de todos os segmentos de borda que envolvem o fragmento, dividida pela área total da paisagem (m²), sendo posteriormente convertido em hectares.
 - `cpland` = core area percentage of landscape. Percentual de área central (“core”) na paisagem. Percentual de áreas centrais (excluídas as bordas de 30 m) em relação à área total da paisagem. O termo “Core area” foi traduzido como área central ou área núcleo. Aqui vamos adotar área central.
- Métricas de agregação. Quantificam a configuração da paisagem:
 - `enn` = euclidian nearest neighbour distance. Distância euclidiana do vizinho mais próximo.
 - `enn_cv` = Coefficient of variation of euclidean nearest-neighbor distance. Coeficiente de variação da distância euclidiana do vizinho mais próximo. A métrica resume cada classe como o Coeficiente de variação das distâncias euclidianas do vizinho mais próximo entre as manchas pertencentes à classe. O valor de `enn_cv` = 0 se a distância euclidiana do vizinho mais próximo for idêntica para todas as manchas. Aumenta, sem limite, à medida que a variação do ENN aumenta.
 - `enn_sd` = Standard deviation of euclidean nearest-neighbor distance. Desvio padrão da distância euclidiana do vizinho mais próximo.
 - `pd` = Patch density. Densidade das manchas.
 - `cohesion` = Cohesion index. Índice de coesão das manchas.

Para incluir cálculos de diferentes métricas de paisagem ao mesmo tempo, precisamos somente acrescentar uma linha de código, que cria um objeto com os nomes das métricas que queremos calcular.... Assim, também precisamos usar a opção “what” na função para aceitar os nomes.

```
# Objeto com os nomes das funções para calcular as métricas desejadas.
minhas_metricas <- c("lsm_c_pland", "lsm_c_ed", "lsm_c_cpland",
                    "lsm_c_enn_mn", "lsm_c_enn_sd", "lsm_c_enn_cv",
                    "lsm_c_pd", "lsm_c_cohesion")

# 8 Métricas calculadas para cada extensão
# raio 250 metros
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
           size = 250, shape = "circle",
           what = minhas_metricas) %>%
  mutate(raio = 250) -> metricas_amostra_250
# raio 500 metros
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
           size = 500, shape = "circle",
```

```

      what = minhas_metricas) %>%
    mutate(raio = 500) -> metricas_amostra_500
# raio 1 km (1000 metros)
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
  size = 1000, shape = "circle",
  what = minhas_metricas) %>%
  mutate(raio = 1000) -> metricas_amostra_1000
# raio 2 km (2000 metros)
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
  size = 2000, shape = "circle",
  what = minhas_metricas) %>%
  mutate(raio = 2000) -> metricas_amostra_2000
# raio 4 km (4000 metros)
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
  size = 4000, shape = "circle",
  what = minhas_metricas) %>%
  mutate(raio = 4000) -> metricas_amostra_4000
# raio 8 km (8000 metros)
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
  size = 8000, shape = "circle",
  what = minhas_metricas) %>%
  mutate(raio = 8000) -> metricas_amostra_8000
# raio 16 km (16000 metros)
sample_lsm(floresta_2020, y = rsm_31976[1, ],
  size = 16000, shape = "circle",
  what = minhas_metricas) %>%
  mutate(raio = 16000) -> metricas_amostra_16000

```

join

```

bind_rows(metricas_amostra_250,
  metricas_amostra_500,
  metricas_amostra_1000,
  metricas_amostra_2000,
  metricas_amostra_4000,
  metricas_amostra_8000,
  metricas_amostra_16000) -> amostras_metricas

```

Plot

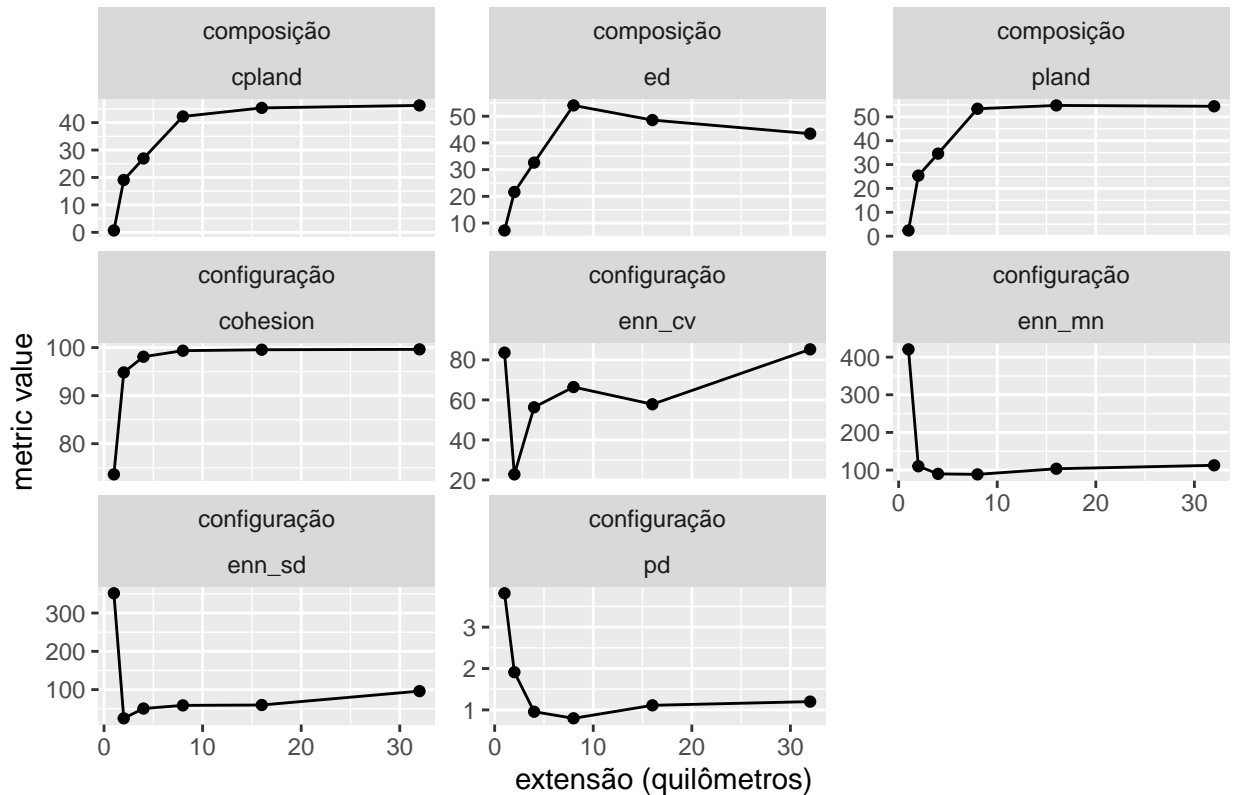
```

metricas_composicao <- c("pland", "ed", "cpland")
# arrumar dados
amostras_metricas %>%
  filter(class==1) %>%
  mutate(ext_km = (2*raio)/1000,
    met_cat = if_else(metric %in% metricas_composicao,
      "composição", "configuração")) %>%
# fazer grafico
ggplot(aes(x=ext_km, y=value)) +
  geom_point() +
  geom_line() +
  facet_wrap(met_cat~metric, scales = "free_y") +
  labs(title = "Resultados de várias métricas",

```

```
x = "extensão (quilômetros)",
y = "metric value")
```

Resultados de várias métricas



5.3.1 Pergunta 6

Com base nos resultados apresentados (figura e tabela) caracterizar as mudanças na paisagem em função de extensões diferentes. Olhando os graficos prever como seria o padrão para extensões maiores (lembrando que valores são dobrados). Seria relevante repetir incluindo calculos para extensões maiores (por exemplo 64 km e 128 km). Justifique sua caracterização e previsões de forma clara e concisa, apoie sua escolha com exemplos da literatura científica.

5.3.2 Pergunta 7

Usando como base o conteúdo das aulas, leitura disponível no Google Classroom (Base teórica 4 Dados, métricas, análises), e/ou exemplos apresentados aqui no tutorial, selecione pelo menos seis métricas de nível classe para caracterizar a paisagem de estudo e objetivos da sua projeto. Justifique sua seleção de forma clara e concisa, apoie sua escolha com exemplos da literatura científica.