# Aula 4B - Plotagem básica com *matplotlib*

Gustavo Oliveira[1] e Andrea Rocha[1]

[1]Departamento de Computação Científica / UFPB

Julho de 2020

## 1 Plotagem básica com *matplotlib*

### 1.1 Visualização de dados

A visualização de dados é um campo do conhecimento bastante antigo que foi trazido à mostra muito recentemente com a expansão do "Big Data". Seu principal objetivo é representar dados e informações graficamente por meio de elementos visuais como tabelas, gráficos, mapas e infográficos. Diversas ferramentas estão disponíveis para tornar a interpretação de dados mais clara, compreensível e acessível.

No contexto da análise de dados, a visualização de dados é um componente fundamental para a criação de relatórios de negócios, painéis de instrumentos (*dashboards*) e gráficos multidimensionais que são aplicáveis às mais diversas disciplinas, tais como Economia, Ciência Política e, principalmente, todo o núcleo de ciências exatas (Matemática, Estatística e Computação).

Em seu livro *The Visual Display of Quantitative Information*, [Edward Tufte], conhecido como o guru do *design* aplicado à visualização de dados, afirma que, a cada ano, o mundo produz algo entre 900 bilhões e 2 trilhões de imagens impressas de gráficos. Ele destaca que o *design* de um gráfico estatístico, por exemplo, é uma matéria universal similar à Matemática e não está atrelado a características únicas de uma linguagem particular. Portanto, aprender visualização de dados para comunicar dados com eficiência é tão importante quanto aprender a Língua Portuguesa para escrever melhor.

Você pode ver uma lista sugestiva de bons blogues e livros sobre visualização de dados nas páginas de aprendizagem do software Tableau [TabelauBlogs], [TabelauBooks].

### 1.2 *Data storytelling*

*Data Storytelling* é o processo de "contar histórias através dos dados". [Cole Knaflic], uma engenheira de dados do Google, ao perceber como a quantidade de informação produzida no mundo às vezes é muito mal lida e comunicada, escreveu dois *best-sellers* sobre este tema a fim de ajudar pessoas a comunicarem melhor seus dados e produtos quantitativos. Ela argumenta em seu livro *Storytelling with Data: A Data Visualization Guide for Business Professionals* (*Storytelling com Dados: um Guia Sobre Visualização de Dados Para Profissionais de Negócios*, na versão em português) que não somos inerentemente bons para "contar uma história" através dos dados. Cole mostra com poucas lições o que devemos aprender para atingir uma comunicação eficiente por meio da visualização de dados.

## 1.3 Plotagem matemática

*Plotagem* é o termo comumente empregado para o esboço de gráficos de funções matemáticas via computador. Plotar gráficos é uma das tarefas que você mais realizará como futuro(a) cientista ou analista de dados. Nesta aula, nós introduziremos você ao universo da plotagem de gráficos em duas dimensões e ensinar como você pode visualizar dados facilmente com a biblioteca *matplotlib*. Daremos uma visão geral principalmente sobre a plotagem de funções matemáticas utilizando *arrays* e recursos de computação vetorizada com *numpy* já aprendidos. Ao longo do curso, você aprenderá a fazer plotagens mais interessantes de cunho estatístico.

## 1.4 A biblioteca *matplotlib*

*Matplotlib* é a biblioteca Python mais conhecida para plotagem 2D (bidimensional) de *arrays*. Sua filosofia é simples: criar plotagens simples com apenas alguns comandos, ou apenas um. John Hunter [History], falecido em 2012, foi o autor desta biblioteca. Em 2008, ele escreveu que, enquanto buscava uma solução em Python para plotagem 2D, ele gostaria de ter, entre outras coisas:

- gráficos bonitos com pronta qualidade para publicação;
- capacidade de incorporação em interfaces gráficas para desenvolvimento de aplicações;
- um código fácil de entender e de manusear.

O *matplotlib* é um código dividido em três partes:

1. A interface *pylab*: um conjunto de funções predefinidas no submódulo `matplotlib.pyplot`.
2. O *frontend*: um conjunto de classes responsáveis pela criação de figuras, textos, linhas, gráficos etc. No *frontend*, todos os elementos gráficos são objetos ainda abstratos.
3. O *backend*: um conjunto de renderizadores responsáveis por converter os gráficos para dispositivos onde eles podem ser, de fato, visualizados. A [renderização] é o produto final do processamento digital. Por exemplo, o *backend* PS é responsável pela renderização de [PostScript]. Já o *backend* SVG constroi gráficos vetoriais escaláveis ([Scalable Vector Graphics].

Veja o conceito de [Canvas].

### 1.4.1 Sessões interativas do *matplotlib*

Sessões interativas do *matplotlib* são habilitadas através de um [comando mágico]:

- Em consoles, use `%matplotlib`;
- No Jupyter notebook, use `%matplotlib inline`.

Lembre que na aula anterior usamos o comando mágico `%timeit` para temporizar operações. Para usar plenamente o matplotlib nesta aula, vamos usar:

```
%matplotlib inline
from matplotlib import pyplot as plt
```

A segunda instrução também pode ser feita como

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

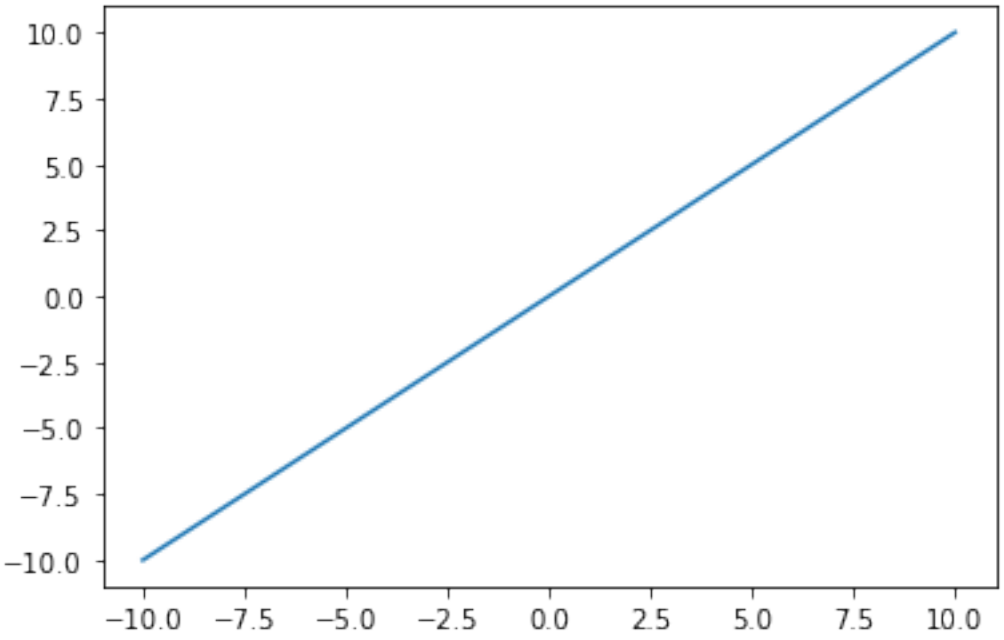
em que `plt` é um *alias* já padronizado.

[1]:
```
# chamada padrão
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
```

### 1.5 Criação de plots simples

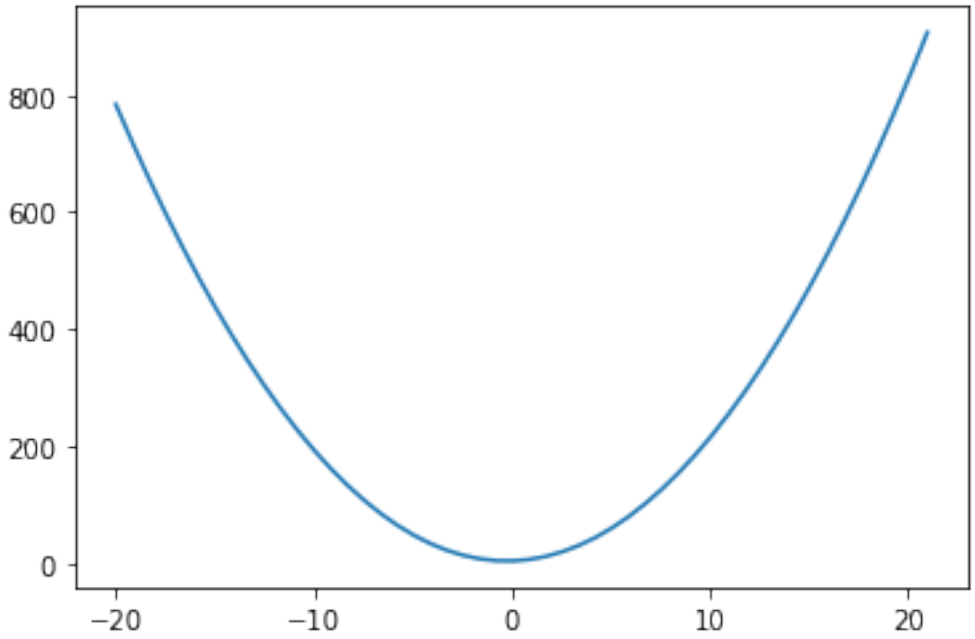
Vamos importar o *numpy* para usarmos os benefícios da computação vetorizada e plotar nossos primeiros exemplos.

[2]:
```
import numpy as np

x = np.linspace(-10,10,50)
y = x
plt.plot(x,y); # reta y = x
```




**Exemplo:** plote o gráfico da parábola $f(x) = ax^2 + bx + c$ para valores quaisquer de $a, b, c$ no intervalo $-20 \leq x \leq 20$.

[3]:
```
x = np.linspace(-20,21,50)

a,b,c = 2,1,4
y = a*x**2 + b*x + c
plt.plot(x,y);
```

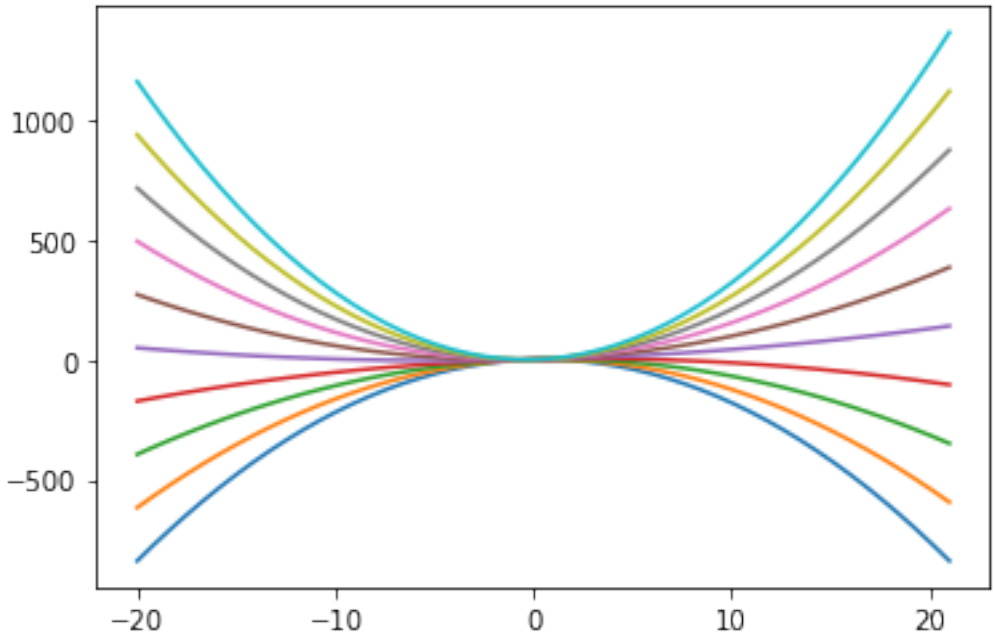



Podemos definir uma função para plotar a parábola:

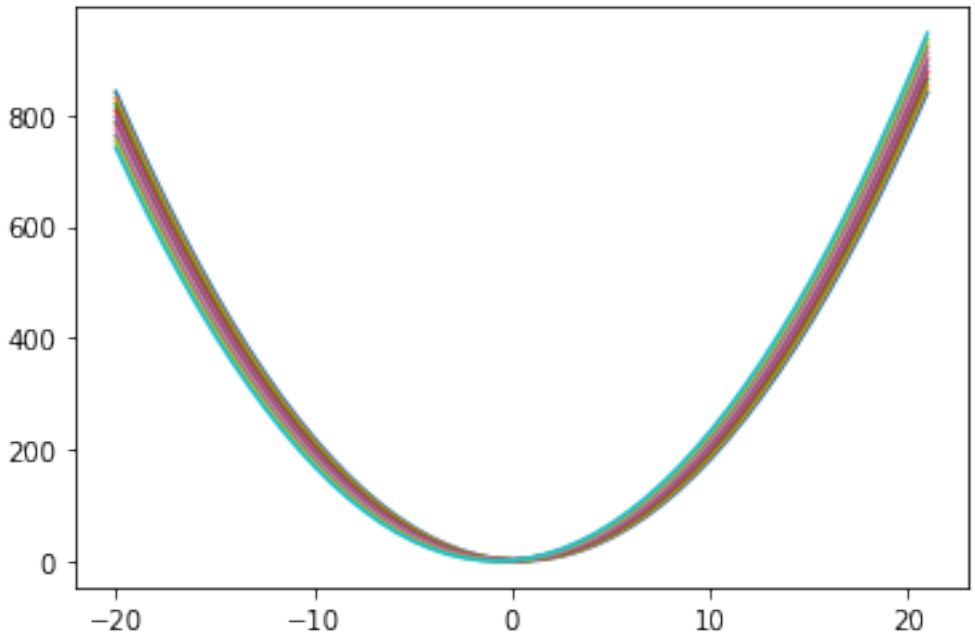
[4]:
```
def plota_parabola(a,b,c):
    x = np.linspace(-20,21,50)
    y = a*x**2 + b*x + c
    plt.plot(x,y)
```

Agora podemos estudar o que cada coeficiente faz:

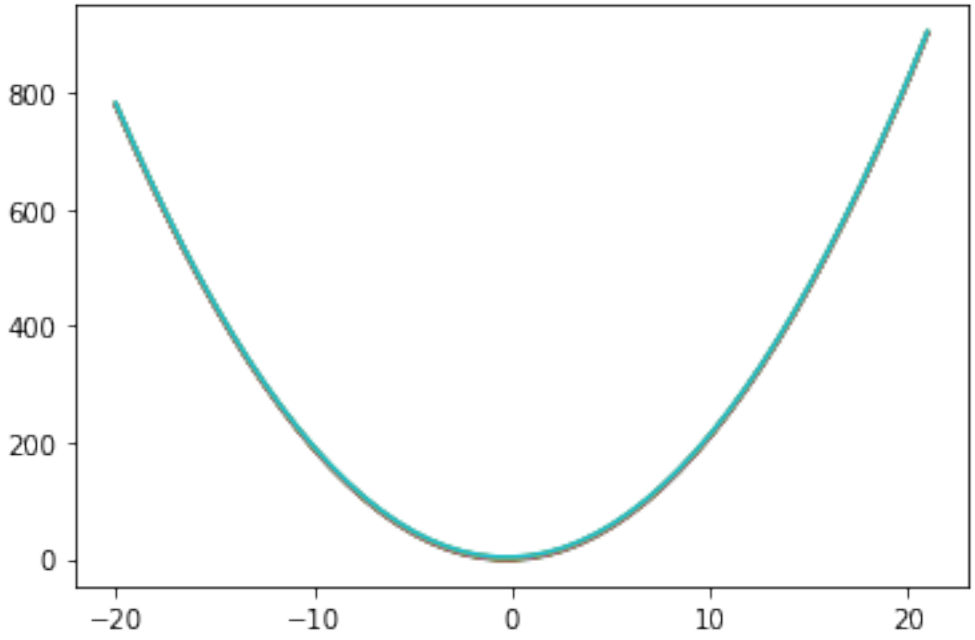
[5]:
```
# mude o valor de a e considere b = 2, c = 1

for a in np.linspace(-2,3,10):
    plota_parabola(a,2,1)
```



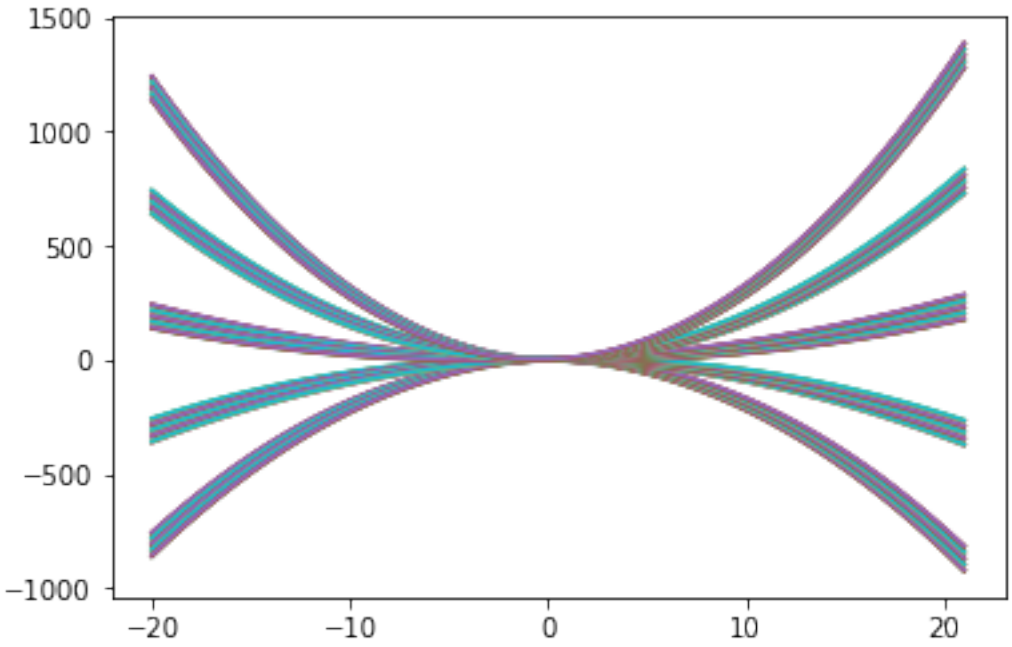

[6]:
```
# mude o valor de b e considere a = 2, c = 1

for b in np.linspace(-2,3,10):
    plota_parabola(2,b,1)
```



[7]:
```
# mude o valor de c e considere a = 2, b = 1

for c in np.linspace(-2,3,10):
    plota_parabola(2,1,c) # por que você não vê muitas mudanças?
```

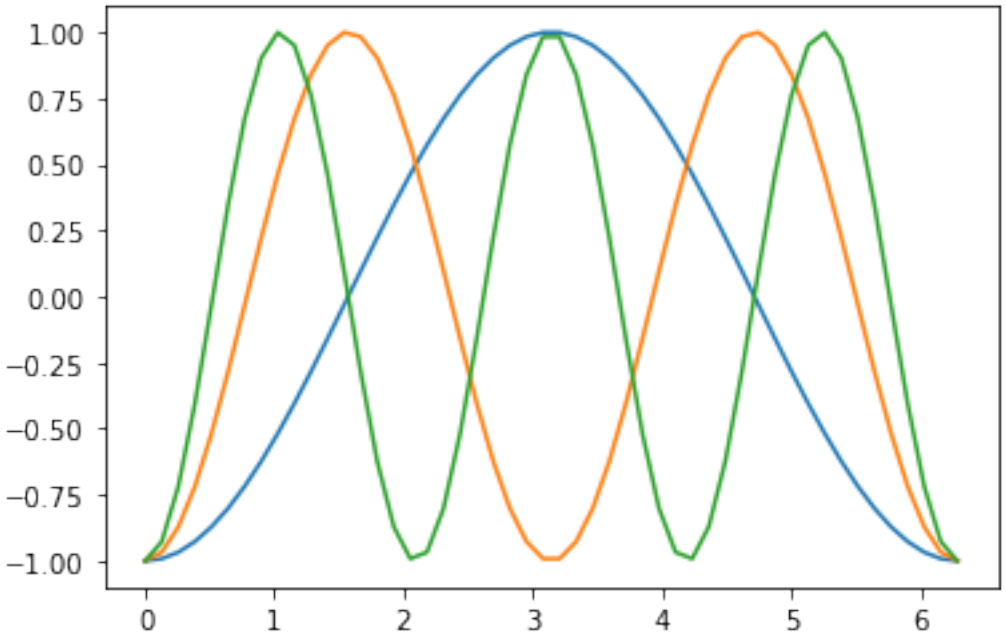



[8]:
```
# mude o valor de a, b e c

valores = np.linspace(-2,3,5)
for a in valores:
    for b in valores:
        for c in valores:
            plota_parabola(a,b,c)
```




**Exemplo:** plote o gráfico da função $g(t) = a\cos(bt + \pi)$ para valores quaisquer de $a$ e $b$ no intervalo $0 \leq t \leq 2\pi$.

[9]:
```
t = np.linspace(0,2*np.pi,50,endpoint=True)

a, b = 1, 1
plt.plot(t,a*np.cos(b*t + np.pi));

b = 2
plt.plot(t,a*np.cos(b*t + np.pi));

b = 3
plt.plot(t,a*np.cos(b*t + np.pi));
```



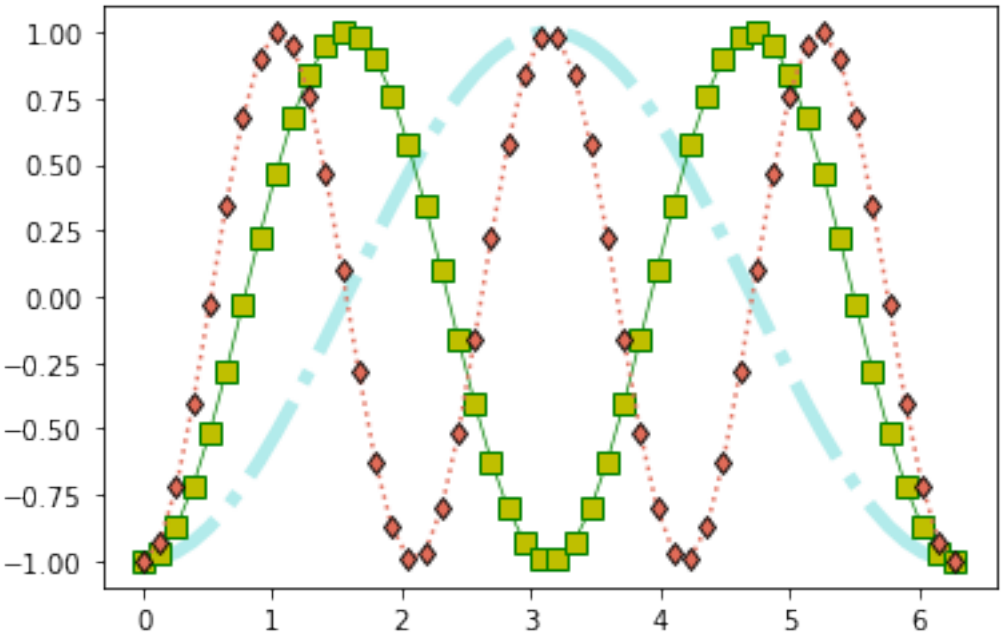

As cores e marcações no gráfico são todas padronizadas. Vejamos como alterar tudo isto.

### 1.6 Alteração de propriedades e estilos de linhas

Altere:

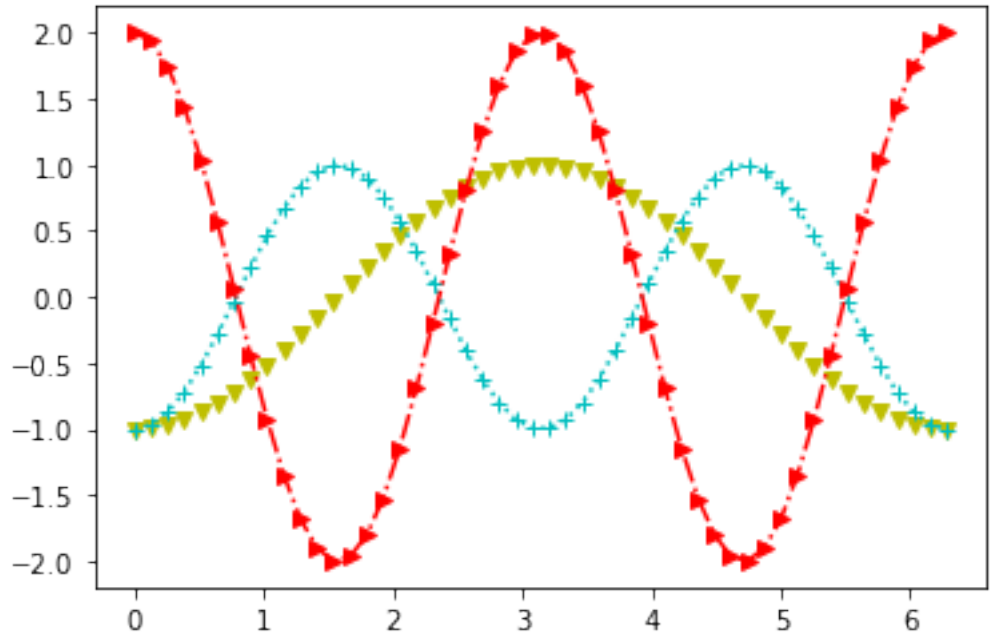
- cores com `color` ou `c`,
- espessura de linha com `linewidth` ou `lw`
- estilo de linha com `linestyle` ou `ls`
- tipo de símbolo marcador com `marker`
- largura de borda do símbolo marcardor com `markeredgewidth` ou `mew`
- cor de borda do símbolo marcardor com `markeredgecolor` ou `mec`
- cor de face do símbolo marcardor com `markerfacecolor` ou `mfc`
- transparência com `alpha` no intervalo [0,1]

[10]:
```
g = lambda a,b: a*np.cos(b*t + np.pi) # assume t anterior

# estude cada exemplo
# a ordem do 3o. argumento em diante pode mudar
plt.plot(t,g(1,1),color='c',linewidth=5,linestyle='-.',alpha=0.3)
plt.plot(t,g(1,2),c='g',ls='-',lw='.7',marker='s',mfc='y',ms=8)
plt.plot(t,g(1,3),c='#e26d5a',ls=':', marker='d',mec='k',mew=0.9);
```




Cores e estilo de linha podem ser especificados de modo reduzido e em ordens distintas usando um especificador de formato.

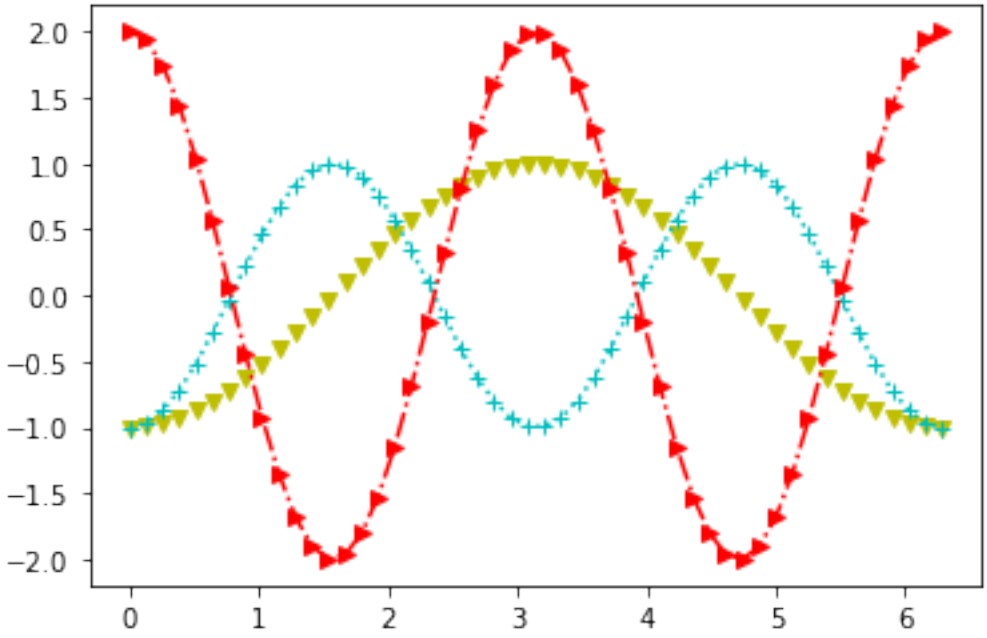
[11]:
```
plt.plot(t,g(1,1),'yv') # amarelo; triângulo para baixo;
plt.plot(t,g(1,2),':c+') # pontilhado; ciano; cruz;
plt.plot(t,-g(2,2),'>-.r'); # triangulo direita; traço-ponto; vermelho;
```



### 1.6.1 Plotagem múltipla

O exemplo acima poderia ser feito como plotagem múltipla em 3 blocos do tipo `(x,y,'fmt')`, onde `x` e `y` são as informações dos eixos coordenados e `fmt` é uma string de formatação.

[12]:
```
plt.plot(t,g(1,1),'yv', t,g(1,2),':c+', t,-g(2,2),'>-.r'); # 3 blocos␣
↪sequenciados
```




Para verificar todas as opções de propriedades e estilos de linhas, veja `plt.plot?`.

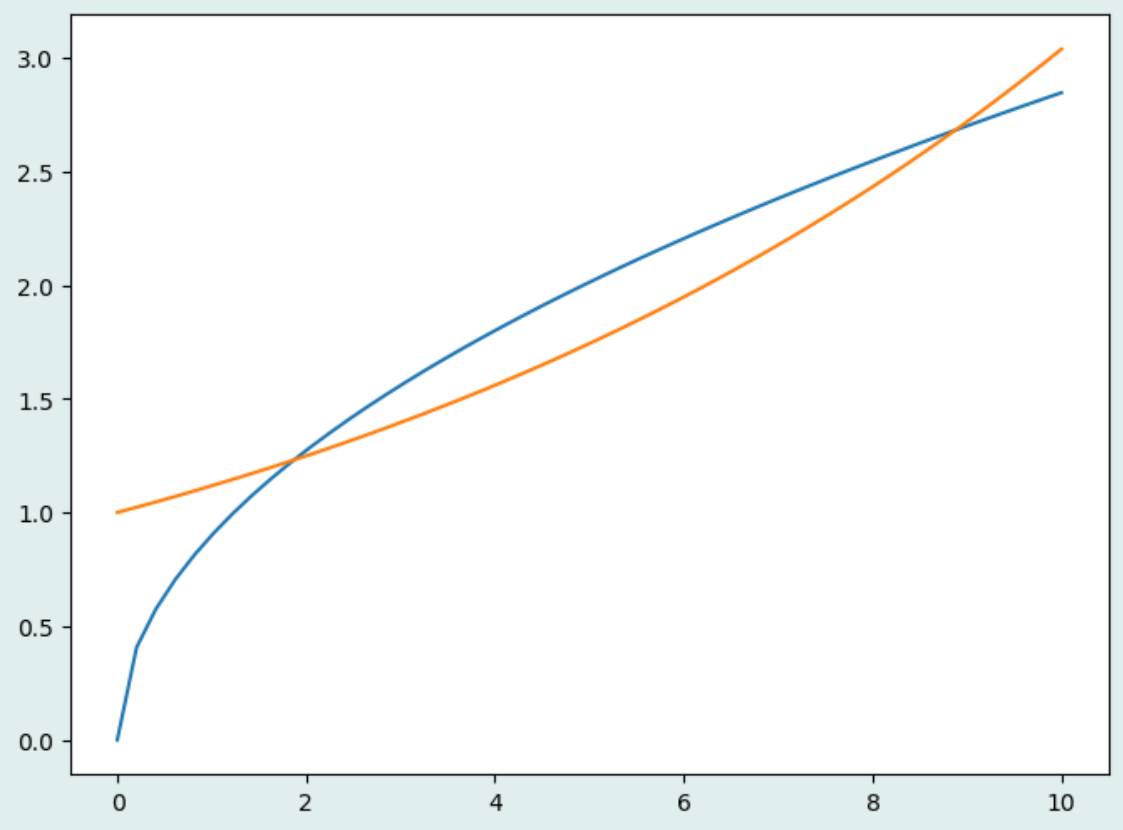
### 1.6.2 Especificação de figuras

Use `plt.figure` para criar um ambiente de figura e altere:

- a largura e altura (em polegadas) com `figsize = (largura,altura)`. O padrão é (6.4,4.8).
- a resolução (em pontos por polegadas) com `dpi`. O padrão é 100.
- a cor de fundo (*background*) com `facecolor`. O padrão é `w` (branco).

**Exemplo:** Plote os gráficos de $h_1(x) = a\sqrt{x}$ $h_2(x) = be^{\frac{x}{c}}$ para valores de a,b,c epropriedades acima livres.

[13]:
```
x = np.linspace(0,10,50,endpoint=True)

h1, h2 = lambda a: a*np.sqrt(x), lambda b,c: b*np.exp(x/c)

plt.figure(figsize=(8,6), dpi=100, facecolor='#e0eeee')
plt.plot(x,h1(.9),x,h2(1,9));
```

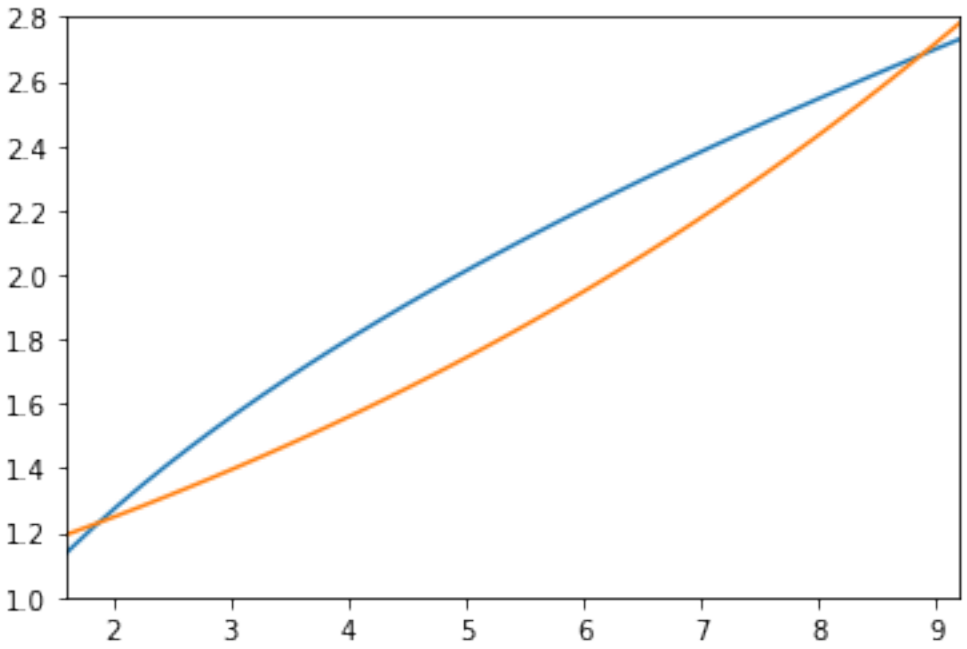



### 1.6.3 Alterando limites e marcações de eixos

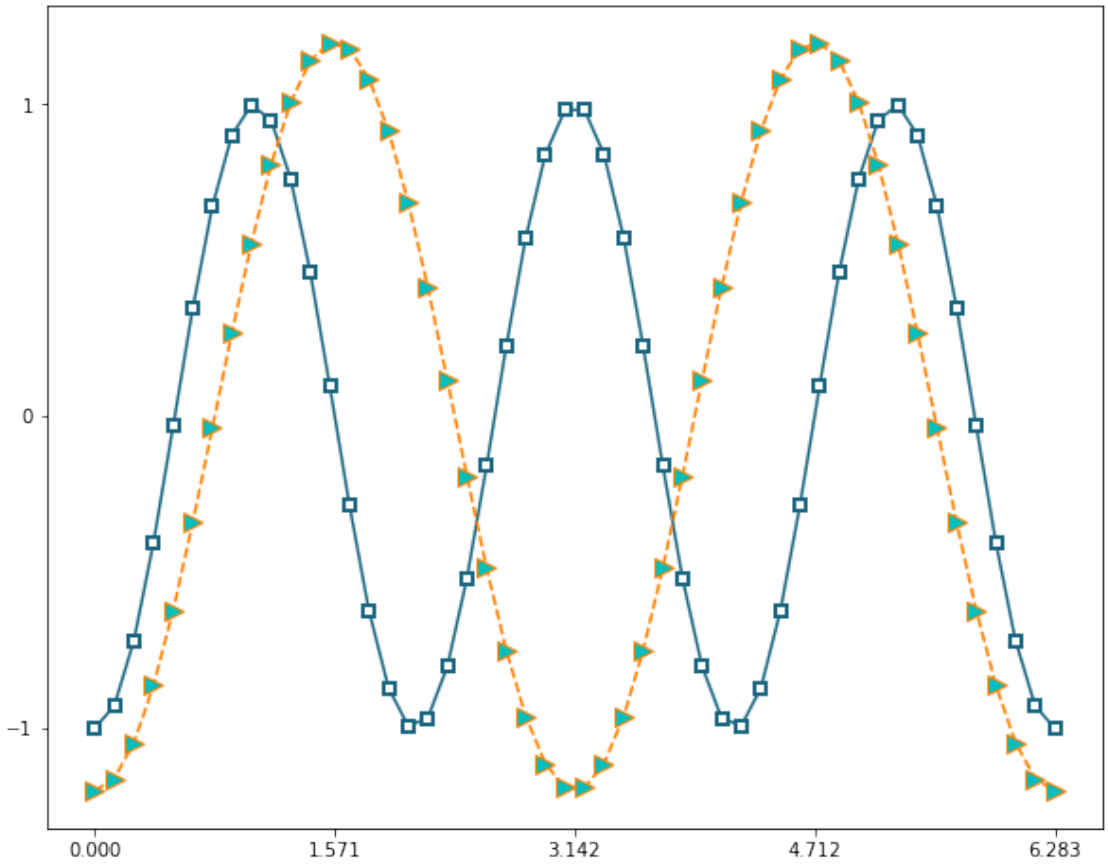
Altere:

- o intervalo do eixo `x` com `xlim`
- o intervalo do eixo `y` com `ylim`
- as marcações do eixo `x` com `xticks`
- as marcações do eixo `y` com `yticks`

[14]:
```
plt.plot(x,h1(.9),x,h2(1,9)); plt.xlim(1.6,9.2); plt.ylim(1.0,2.8);
```



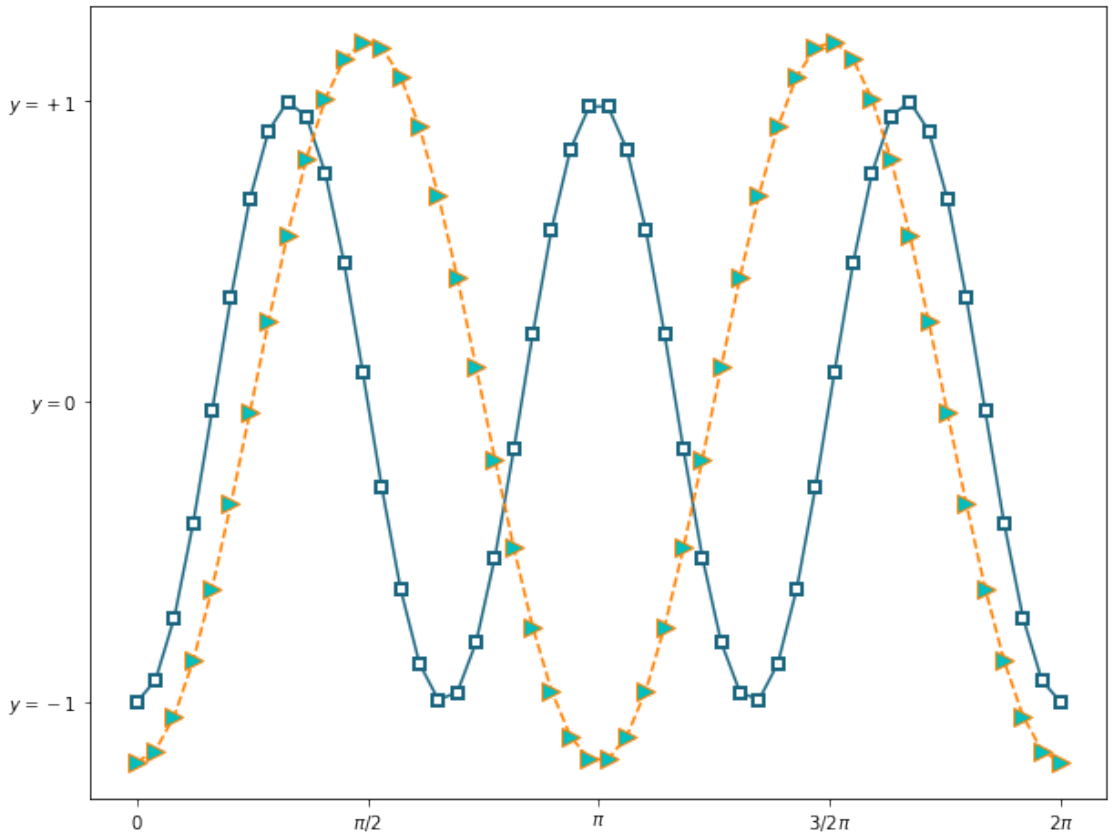

[15]:
```
plt.figure(figsize=(10,8))

plt.plot(t,g(1,3),c=[0.1,0.4,0.5],marker='s',mfc='w',mew=2.0);
plt.plot(t,g(1.2,2),c=[1.0,0.5,0.0],ls='--',marker='>',mfc='c',mew=1.0,ms=10);

plt.xticks([0, np.pi/2,np.pi,3*np.pi/2,2*np.pi]); # lista de múltiplos de pi
plt.yticks([-1, 0, 1]); # 3 valores em y
```




### 1.6.4 Especificando texto de marcações em eixos

Podemos alterar as marcações das `ticks` passando um texto indicativo. No caso anterior, seria melhor algo como:

[16]:
```
plt.figure(figsize=(10,8))

plt.plot(t,g(1,3),c=[0.1,0.4,0.5],marker='s',mfc='w',mew=2.0);
plt.plot(t,g(1.2,2),c=[1.0,0.5,0.0],ls='--',marker='>',mfc='c',mew=1.0,ms=10);

# o par de $...$ formata os números na linguagem TeX
plt.xticks([0, np.pi/2,np.pi,3*np.pi/2,2*np.pi], ['$0$','$\pi/2$','$\pi$','$3/
 ↪2\pi$','$2\pi$']);
plt.yticks([-1, 0, 1], ['$y = -1$', '$y = 0$', '$y = +1$']);
```

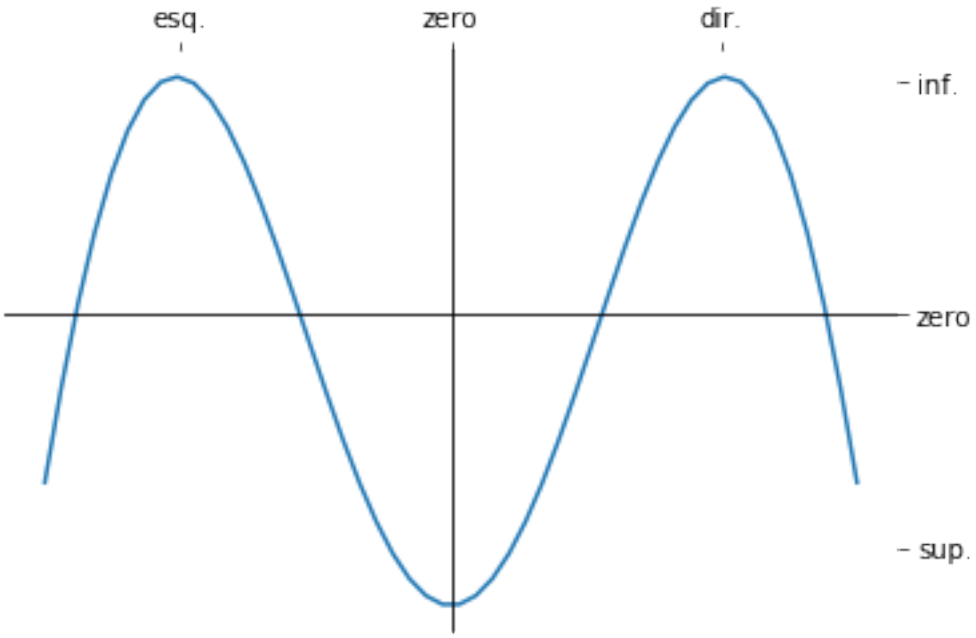



### 1.6.5 Deslocamento de eixos principais

Os eixos principais podem ser movidos para outras posições arbitrárias e as bordas da área de plotagem desligadas usando `spine`.

[17]:
```
# plotagem da função
x = np.linspace(-3,3)
plt.plot(x,x**1/2*np.sin(x)-0.5);
ax = plt.gca()

ax.spines['right'].set_color('none') # remove borda direita
ax.spines['top'].set_color('none') # remove borda superior

ax.spines['bottom'].set_position(('data',0)) # desloca eixo para x = 0
ax.spines['left'].set_position(('data',0)) # desloca eixo para y = 0

ax.xaxis.set_ticks_position('top') # desloca marcações para cima
ax.yaxis.set_ticks_position('right') # desloca marcações para a direita

plt.xticks([-2,0,2]) # altera ticks de x
ax.set_xticklabels(['esq.','zero','dir.']) # altera ticklabels de x
```

```
plt.yticks([-0.4,0,0.4]) # altera ticks de y
ax.set_yticklabels(['sup.','zero','inf.']); # altera ticklabels de y
```



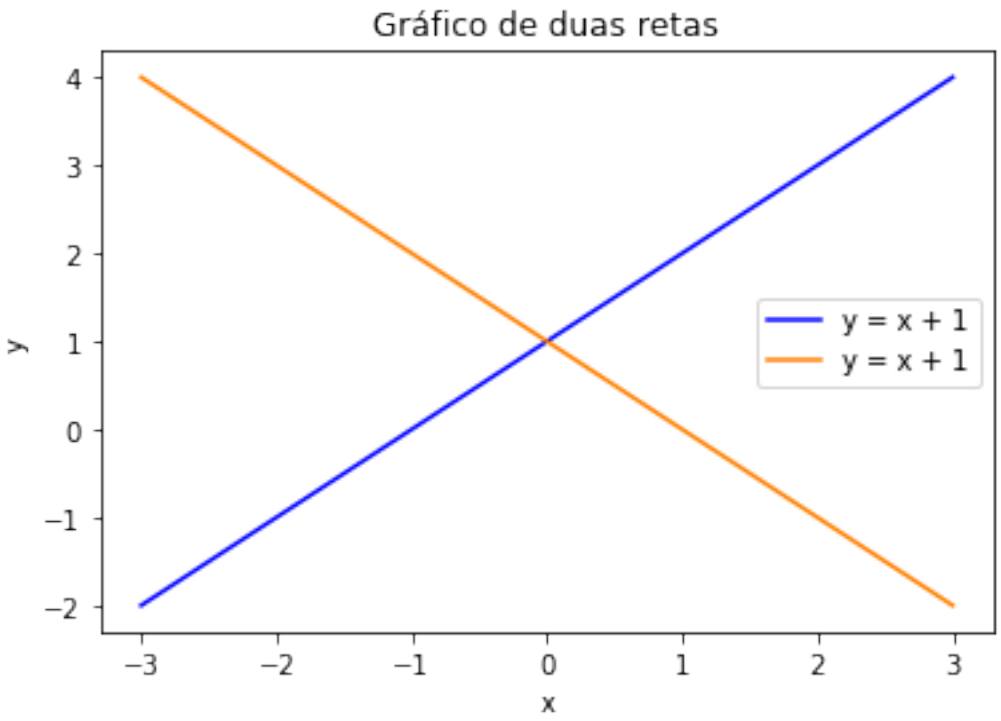

### 1.6.6 Inserção de legendas

Para criarmos:

- uma legenda para os gráficos, usamos `legend`.
- uma legenda para o eixo x, usamos `xlabel`
- uma legenda para o eixo y, usamos `ylabel`
- um título para o gráfico, usamos `title`

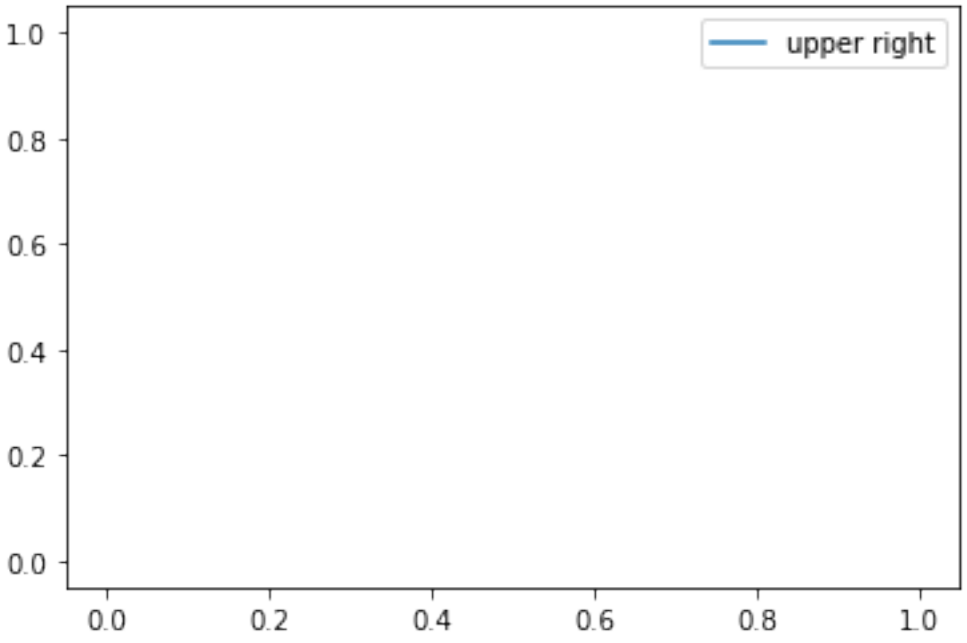
**Exemplo:** plote o gráfico da reta $f_1(x) = x + 1$ e da reta $f_2(x) = 1 - x$ e adicione uma legenda com cores azul e laranja.

[18]:
```
plt.plot(x,x+1,'-b',label='y = x + 1')
plt.plot(x,1-x,c=[1.0,0.5,0.0],label='y = x + 1'); # laranja: 100% de vermelho,␣
 ↪50% verde
plt.legend(loc='best') # 'loc=best' : melhor localização da legenda
plt.xlabel('x'); plt.ylabel('y'); plt.title('Gráfico de duas retas');
```

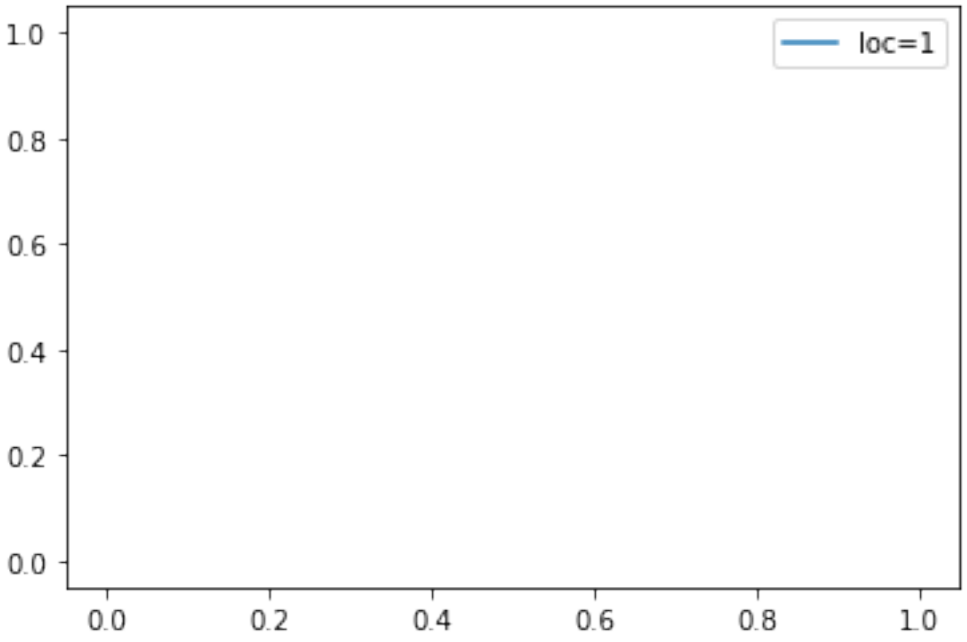



**Localização de legendas** Use `loc=valor` para especificar onde posicionar a legenda. Use `plt.legend?` para verificar as posições disponíveis para `valor`. Vide tabela de valores `Location String` e `Location Code`.

[19]:
```
plt.plot(np.nan,np.nan,label='upper right'); # nan : not a number
plt.legend(loc=1); # usando número
```



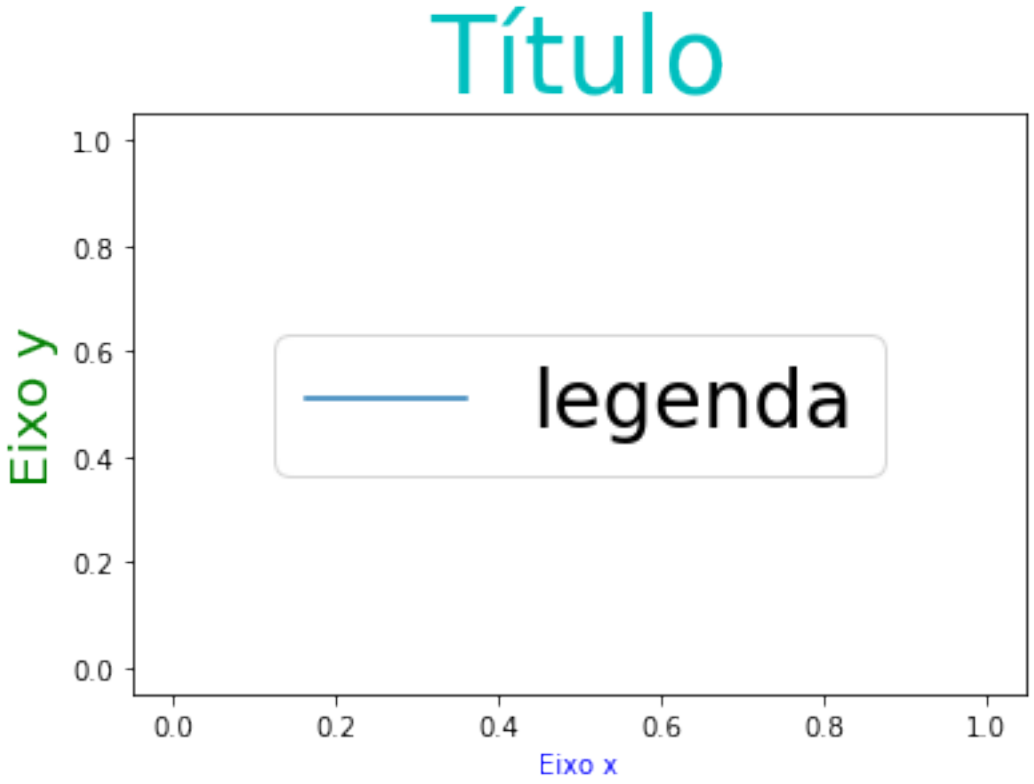

[20]:
```
plt.plot(np.nan,np.nan,label='loc=1');
plt.legend(loc='upper right'); # usando a string correspondente
```



### 1.6.7 Alteração de tamanho de fonte

Para alterar o tamanho da fonte de legendas, use `fontsize`.

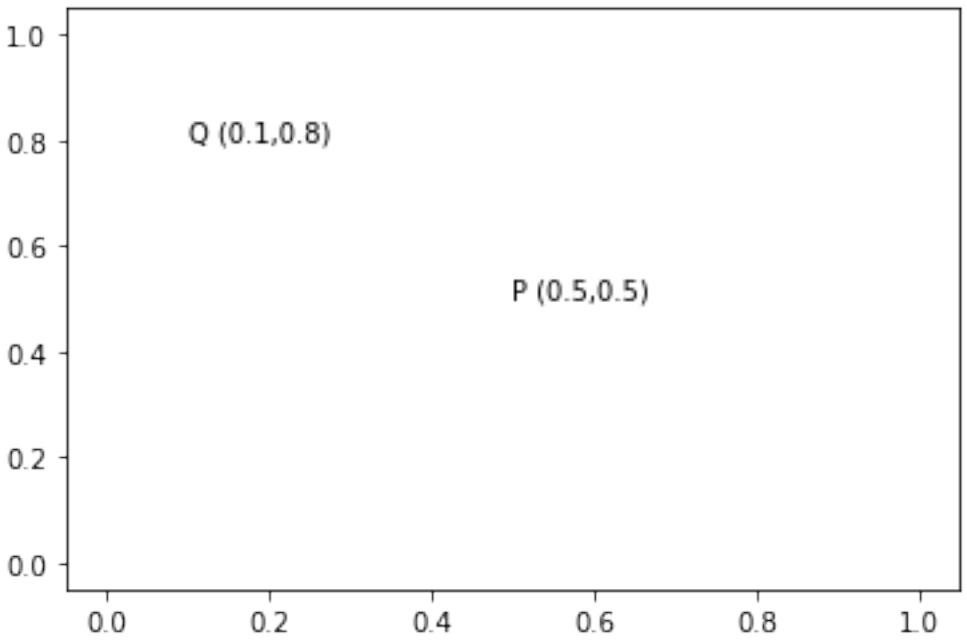
[21]:
```
plt.plot(np.nan,np.nan,label='legenda');

FSx, FSy, FSleg, FStit = 10, 20, 30, 40

plt.xlabel('Eixo x',c='b', fontsize=FSx)
plt.ylabel('Eixo y',c='g', fontsize=FSy)
plt.legend(loc='center', fontsize=FSleg);
plt.title('Título', c='c', fontsize=FStit);
```




### 1.6.8 Anotações simples

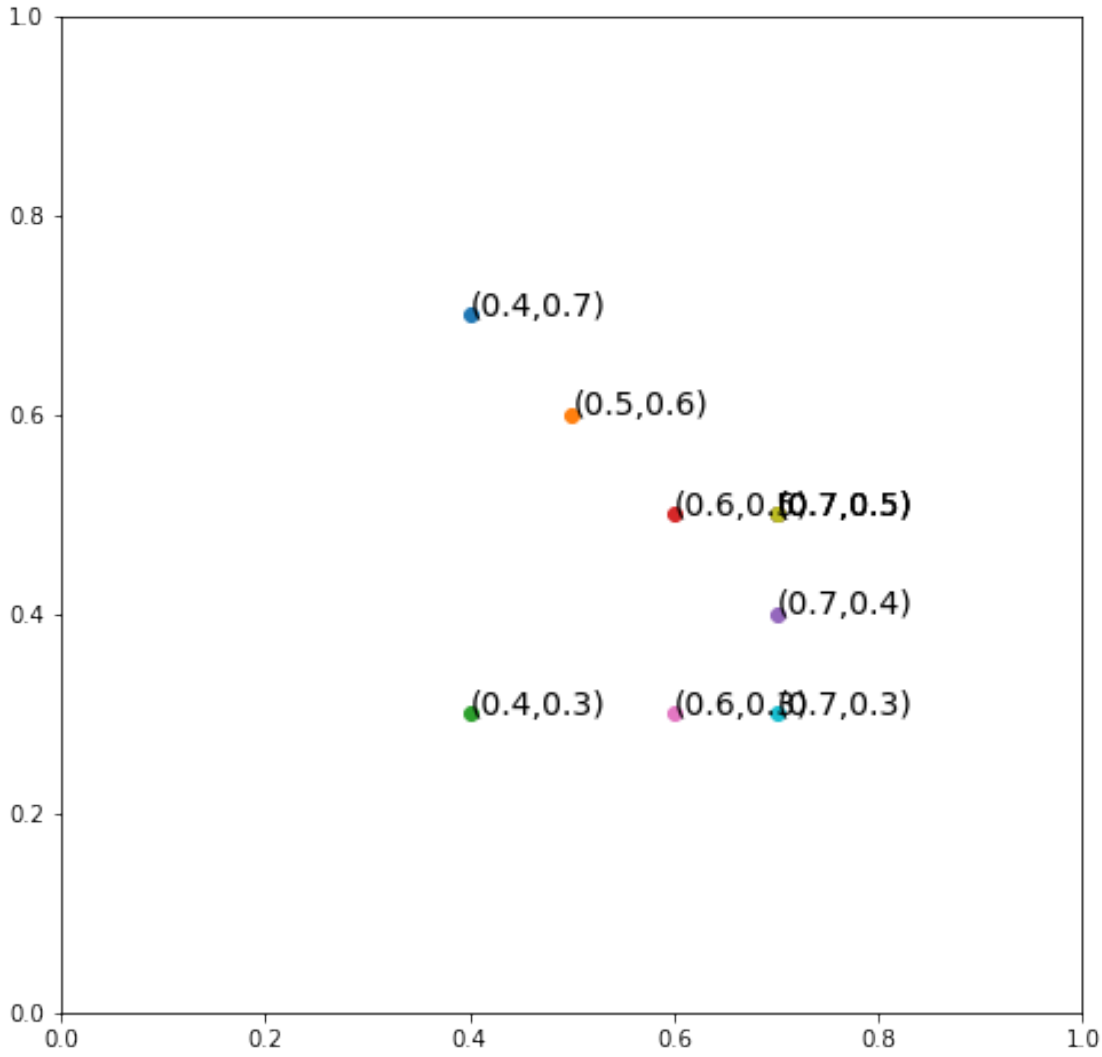
Podemos incluir anotações em gráficos com a função `annotate(texto,xref,yref)`

[22]:
```
plt.plot(np.nan,np.nan);
plt.annotate('P (0.5,0.5)',(0.5,0.5));
plt.annotate('Q (0.1,0.8)',(0.1,0.8));
```




**Exemplo**: gere um conjunto de 10 pontos $(x, y)$ aleatórios em que $0.2 < x, y < 0.8$ e anote-os no plano.

[23]:
```
# gera uma lista de 10 pontos satisfazendo a condição
P = []
while len(P) != 10:
    xy = np.round(np.random.rand(2),1)
    test = np.all( (xy > 0.2) & (xy < 0.8) )
    if test:
        P.append(tuple(xy))

# plota o plano
plt.figure(figsize=(8,8))
plt.xlim(0,1)
plt.ylim(0,1)

for ponto in P:
    plt.plot(ponto[0],ponto[1],'o')
    plt.annotate(f'({ponto[0]},{ponto[1]})',ponto,fontsize=14)
```




**Problema:** o código acima tem um problema. Verifique que `len(P) = 10`, mas ele não plota os 10 pontos como gostaríamos de ver. Descubra o que está acontecendo e proponha uma solução.

## 1.7 Multiplotagem e eixos

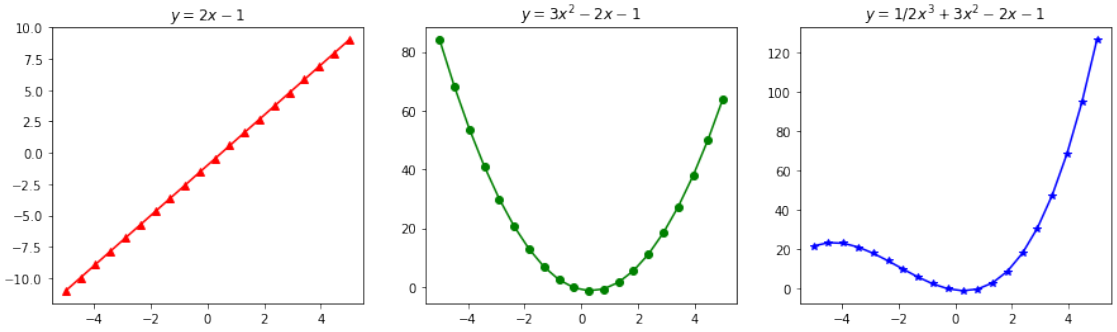
No matplotlib, podemos trabalhar com a função `subplot(m,n,p)` para criar múltiplas figuras e eixos independentes como se cada figura fosse um elemento de uma grande "matriz de figuras" de `m` linhas e `n` colunas, enquanto `p` é o índice da figura (este valor será no máximo o produto `mxn`). A função funciona da seguinte forma.

- Exemplo 1: suponha que você queira criar 3 figuras e dispô-las em uma única linha. Neste caso, `m = 1`, `n = 3` e `p` variará de 1 a 3, visto que `mxn = 3`.
- Exemplo 2: suponha que você queira criar 6 figuras e dispô-las em 2 linhas e 3 colunas. Neste caso, `m = 2`, `n = 3` e `p` variará de 1 a 6, visto que `mxn = 6`.

- Exemplo 3: suponha que você queira criar 12 figuras e dispô-las em 4 linhas e 3 colunas. Neste caso, `m = 4`, `n = 3` e `p` variará de 1 a 12, visto que `mxn = 12`.

Cada plotagem possui seu eixo independentemente da outra.
**Exemplo 1:** gráfico de 1 reta, 1 parábola e 1 polinômio cúbico lado a lado.

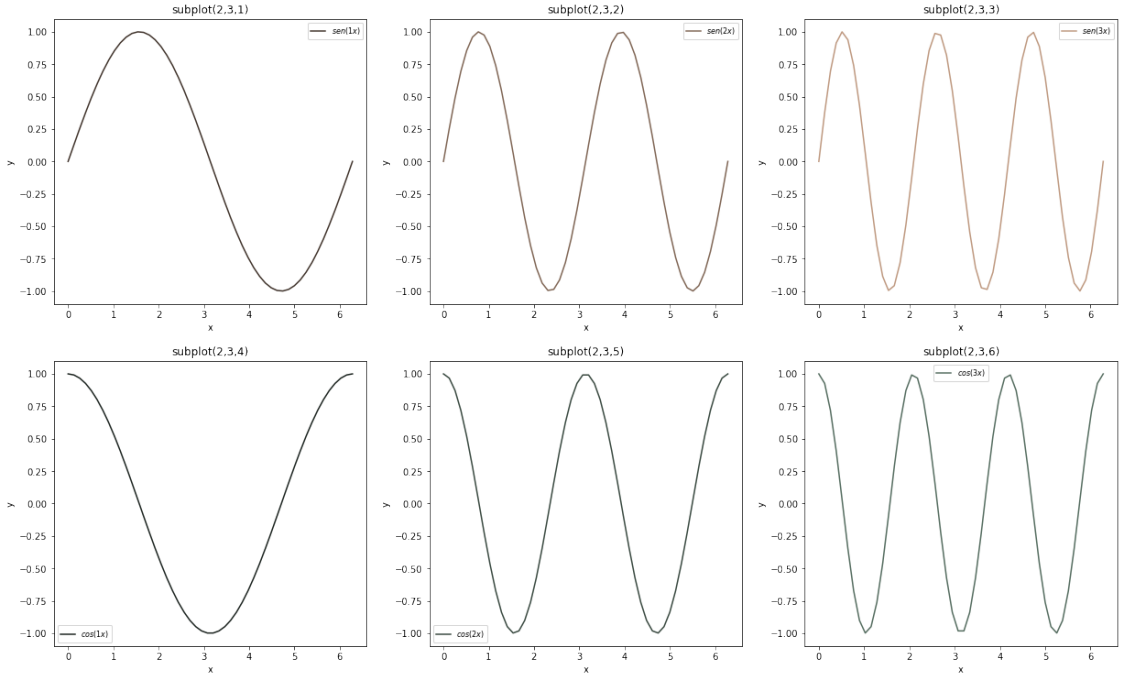
[24]:
```
x = np.linspace(-5,5,20)

plt.figure(figsize=(15,4))

# aqui p = 1
plt.subplot(1,3,1) # plt.subplot(131) também é válida
plt.plot(x,2*x-1,c='r',marker='^')
plt.title('$y=2x-1$')

# aqui p = 2
plt.subplot(1,3,2) # plt.subplot(131) também é válida
plt.plot(x,3*x**2 - 2*x - 1,c='g',marker='o')
plt.title('$y=3x^2 - 2x - 1$')

# aqui p = 3
plt.subplot(1,3,3) # plt.subplot(131) também é válida
plt.plot(x,1/2*x**3 + 3*x**2 - 2*x - 1,c='b',marker='*')
plt.title('$y=1/2x^3 + 3x^2 - 2x - 1$');
```




**Exemplo 2:** gráficos de $\{sen(x), sen(2x), sen(3x)\}$ e $\{cos(x), cos(2x), cos(3x)\}$ dispostos em matriz 2x3.

[25]:
```
plt.figure(figsize=(15,4))
plt.subplots_adjust(top=2.5,right=1.2) # ajusta a separação dos plots individuais

def sencosx(p):
    x = np.linspace(0,2*np.pi,50)
    plt.subplot(2,3,p)
    if p <= 3:
        plt.plot(x,np.sin(p*x),c=[p/4,p/5,p/6],label=f'$sen({p}x)$')
        plt.title(f'subplot(2,3,{p})');
```

```
    else:
        plt.title(f'subplot(2,3,{p})');
        p-=3 #
        plt.plot(x,np.cos(p*x),c=[p/9,p/7,p/8],label=f'$cos({p}x)$')

    plt.legend(loc=0,fontsize=8)
    plt.xlabel('x'); plt.ylabel('y');

# plotagem
for p in range(1,7):
    sencosx(p)
```




**Exemplo 3:** gráficos de um ponto isolado em matriz 4 x 3.

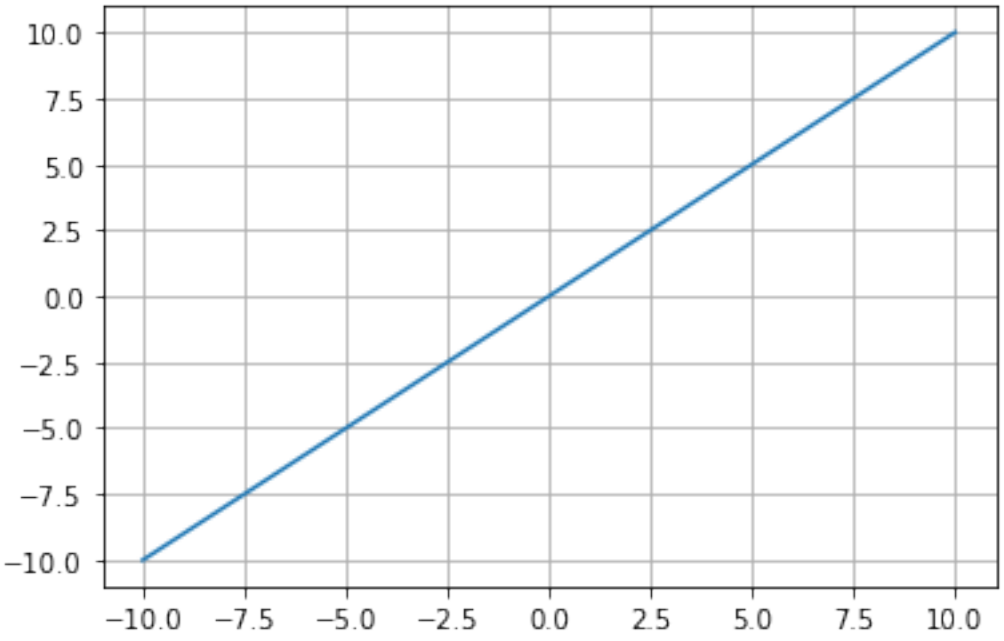
[26]:
```
plt.figure(figsize=(15,4))
m,n = 4,3
def star(p):
    plt.subplot(m,n,p)
    plt.axis('off') # desliga eixos
    plt.plot(0.5,0.5,marker='*',c=list(np.random.rand(3)),ms=p*2)
    plt.annotate(f'subplot({m},{n},{p})',(0.5,0.5),c='g',fontsize=10)

for p in range(1,m*n+1):
    star(p);
```


## 1.8 Plots com gradeado

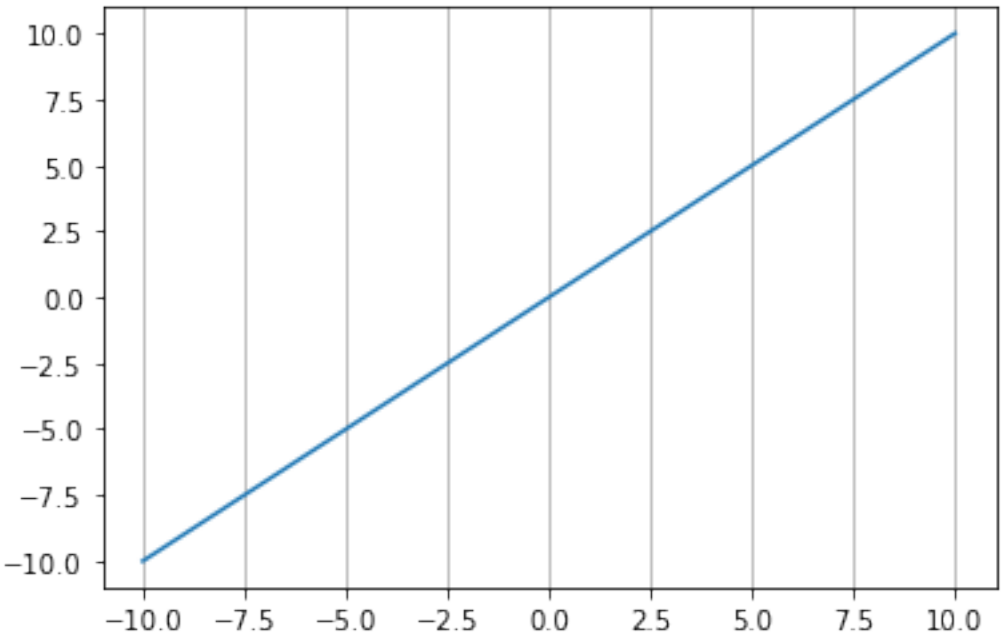
Podemos habilitar o gradeado usando `grid(b,which,axis)`.
Para especificar o gradeado:

- em ambos os eixos, use `b='True'` ou `b='False'`.
- maior, menor ou ambos, use `which='major'`, `which='minor'` ou `which='both'`.
- nos eixos x, y ou ambos, use `axis='x'`, `axis='y'` ou `axis='both'`.

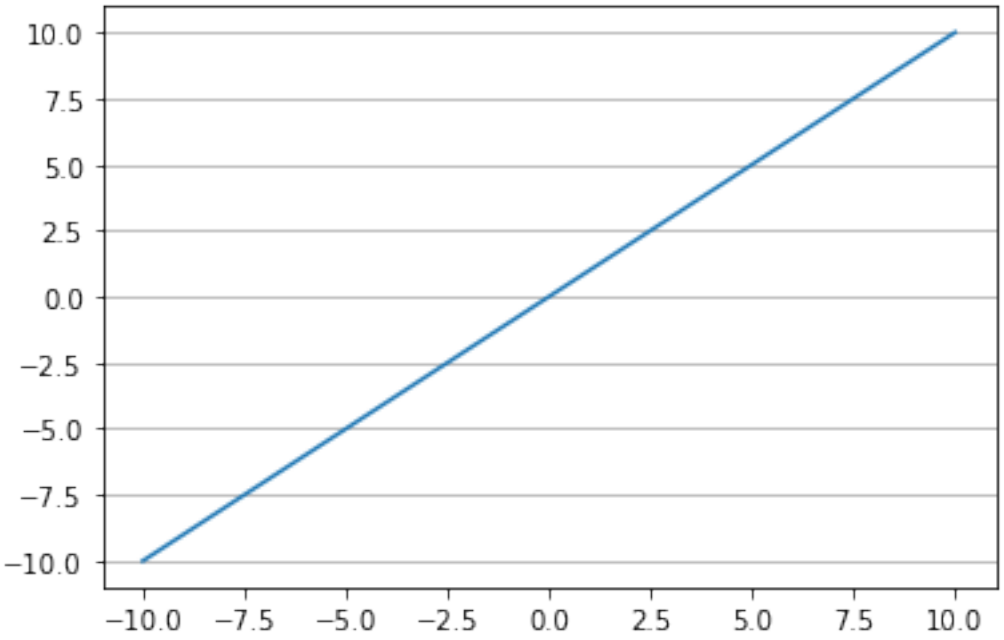
[27]:
```
x = np.linspace(-10,10)
plt.plot(x,x)
plt.grid(True)
```



[28]:
```
plt.plot(x,x)
plt.grid(True,which='major',axis='x')
```




[29]:
```
plt.plot(x,x)
plt.grid(True,which='major',axis='y')
```

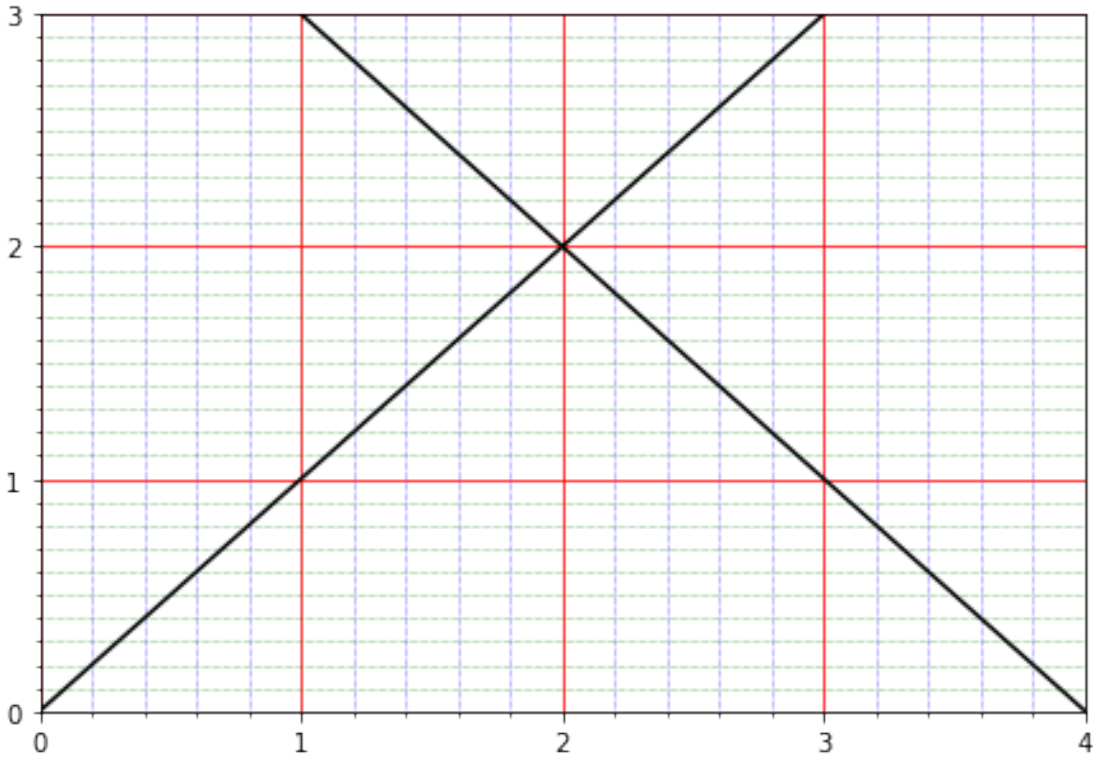


**Exemplo:** plotagem de gradeado.

Neste exemplo, um eixo abstrato é adicionado sobre a figura (criada diretamente) origem no ponto (0.025,0.025), largura 0.95 e altura 0.95.

[30]:
```
ax = plt.axes([0.025, 0.025, 0.95, 0.95])
ax.set_xlim(0,4)
ax.set_ylim(0,3)

# MultipleLocator estabelece pontos de referência para divisão da grade
ax.xaxis.set_major_locator(plt.MultipleLocator(1.0)) # divisor maior em X
ax.xaxis.set_minor_locator(plt.MultipleLocator(0.2)) # divisor maior em X
ax.yaxis.set_major_locator(plt.MultipleLocator(1.0)) # divisor maior em Y
ax.yaxis.set_minor_locator(plt.MultipleLocator(0.1)) # divisor maior em Y

# propriedades das linhas
ax.grid(which='major', axis='x', linewidth=0.75, linestyle='-', color='r')
ax.grid(which='minor', axis='x', linewidth=0.5, linestyle=':', color='b')
ax.grid(which='major', axis='y', linewidth=0.75, linestyle='-', color='r')
ax.grid(which='minor', axis='y', linewidth=0.5, linestyle=':', color='g')

# para remover as ticks, adicione comentários
#ax.set_xticklabels([])
#ax.set_yticklabels([]);

plt.plot(x,x,'k')
plt.plot(x,-x+4,'k')
```

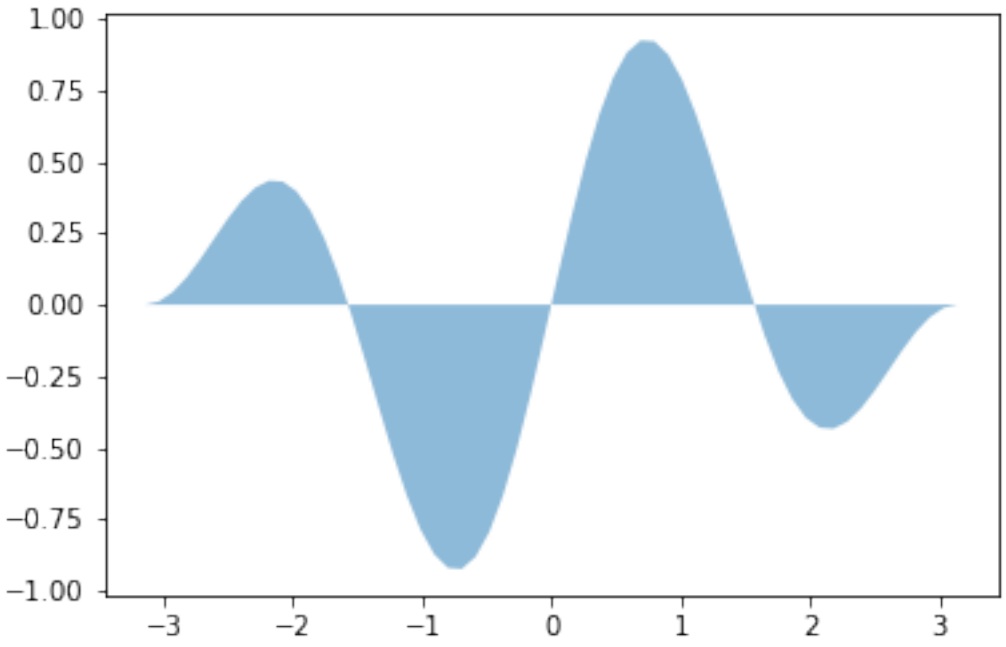
[30]:
```
[<matplotlib.lines.Line2D at 0x7fc4adc1b668>]
```




### 1.9 Plots com preenchimento

Podemos usar `fill_between` para criar preenchimentos de área em gráficos.

[31]:
```
x = np.linspace(-np.pi, np.pi, 60)
y = np.sin(2*x)*np.cos(x/2)

plt.fill_between(x,y,alpha=0.5);
```




[32]:
```
x = np.linspace(-np.pi, np.pi, 60)
f1 = np.sin(2*x)
f2 = 0.5*np.sin(2*x)

plt.plot(x,f1,c='r');
plt.plot(x,f2,c='k');
plt.fill_between(x,f1,f2,color='g',alpha=0.2);
```