

# Soluções - Guidorizzi - Volume 1

Leonardo

November 29, 2017



## Chapter 1

# Números Reais

## 1.1 Os Números Racionais

## 1.2 Os Números Reais

Utilizamos nos exercícios a seguir o algoritmo de Briot-Ruffini.

1. (d)  $x + 3 \leq 6x - 2 \Rightarrow -5x \leq -5 \Rightarrow x \geq 1$ .

(e)  $1 - 3x > 0 \Rightarrow -3x > -1 \Rightarrow 3x < 1 \Rightarrow x < \frac{1}{3}$ .

(f)  $2x + 1 \geq 3x \Rightarrow -x \geq -1 \Rightarrow x \leq 1$ .

2. (i)  $(2x - 1)(3 - 2x)$

$$2x - 1 < 0 \Rightarrow x < \frac{1}{2}$$

$$2x - 1 > 0 \Rightarrow x > \frac{1}{2}$$

$$2x - 1 = 0 \Rightarrow x = \frac{1}{2}$$

$$3 - 2x < 0 \Rightarrow x > \frac{3}{2}$$

$$3 - 2x > 0 \Rightarrow x < \frac{3}{2}$$

$$3 - 2x = 0 \Rightarrow x = \frac{3}{2}$$

$$(2x - 1)(3 - 2x) > 0 \text{ para } \frac{1}{2} < x < \frac{3}{2}$$

$$(2x - 1)(3 - 2x) < 0 \text{ para } x < \frac{1}{2} \text{ ou } x > \frac{3}{2}$$

$$(2x - 1)(3 - 2x) > 0 \text{ para } \frac{1}{2} < x < \frac{3}{2}$$

$$(2x - 1)(3 - 2x) < 0 \text{ para } x = \frac{1}{2} \text{ ou } x = \frac{3}{2}$$

(j)  $x(x - 3)$

$$x - 3 < 0 \Rightarrow x < 3$$

$$x - 3 > 0 \Rightarrow x > 3$$

$$x - 3 = 0 \Rightarrow x = 3$$

$$x(x - 3) < 0 \text{ para } 0 < x < 3$$

$$x(x-3) > 0 \text{ para } x < 0 \text{ ou } x > 3$$

$$x(x-3) \text{ para } x = 0 \text{ ou } x = 3.$$

$$(1) \quad x(x-1)(2x+3)$$

$$x-1 < 0 \Rightarrow x < 1$$

$$x-1 > 0 \Rightarrow x > 1$$

$$x-1 = 0 \Rightarrow x = 1$$

$$2x+3 < 0 \Rightarrow x < -\frac{3}{2}$$

$$2x+3 > 0 \Rightarrow x > -\frac{3}{2}$$

$$2x+3 = 0 \Rightarrow x = -\frac{3}{2}$$

$$x(x-1)(2x+3) > 0 \text{ para } -\frac{3}{2} < x < 0 \text{ ou para } x > 1$$

$$x(x-1)(2x+3) < 0 \text{ para } x < -\frac{3}{2} \text{ ou para } 0 < x < 1$$

$$x(x-1)(2x+3) = 0 \text{ para } x = 0 \text{ ou } x = -\frac{3}{2} \text{ ou } x = 1.$$

$$(m) \quad (x-1)(1+x)(2-3x)$$

$$x-1 < 0 \Rightarrow x < 1$$

$$x-1 > 0 \Rightarrow x > 1$$

$$x-1 = 0 \Rightarrow x = 1$$

$$1+x < 0 \Rightarrow x < -1$$

$$1+x > 0 \Rightarrow x > -1$$

$$1+x = 0 \Rightarrow x = -1$$

$$2-3x < 0 \Rightarrow x > \frac{2}{3}$$

$$2-3x > 0 \Rightarrow x < \frac{2}{3}$$

$$2-3x = 0 \Rightarrow x = \frac{2}{3}$$

$$(x-1)(1+x)(2-3x) > 0 \text{ para } x < -1 \text{ ou } \frac{2}{3} < x < 1$$

$$(x-1)(1+x)(2-3x) < 0 \text{ para } -1 < x < \frac{2}{3} \text{ ou } x > 1$$

$$(x-1)(1+x)(2-3x) = 0 \text{ para } x = 1 \text{ ou } x = -1 \text{ ou } x = \frac{2}{3}.$$

$$(n) \quad x(x^2 + 3)$$

$$x^2 + 3 < 0 \Rightarrow x^2 < -3, \text{ não é possível.}$$

$$x^2 + 3 > 0 \text{ para qualquer } x$$

Logo temos:

$$x(x^2 + 3) > 0 \text{ para } x > 0$$

$$x(x^2 + 3) < 0 \text{ para } x < 0$$

$$x(x^2 + 3) = 0 \text{ para } x = 0$$

$$\begin{aligned} 3. \quad (h) \quad \frac{2x-1}{x-3} > 5 &\Rightarrow \frac{2x-1}{x-3} > \frac{5(x-3)}{x-3} \Rightarrow \\ \frac{2x-1-5(x-3)}{x-3} > 0 &\Rightarrow \frac{2x-1-5x+15}{x-3} > 0 \Rightarrow \\ \frac{-3x+14}{x-3} > 0 &\Rightarrow \frac{3x+14}{x-3} < 0 \\ 3x+14 > 0 &\Rightarrow x > \frac{14}{3} \\ 3x+14 < 0 &\Rightarrow x < \frac{14}{3} \\ x-3 > 0 &\Rightarrow x > 3 \\ x-3 < 0 &\Rightarrow x < 3 \end{aligned}$$

Devemos ter o denominador e numerador com sinais opostos, assim temos a solução:

$$S = \{x \in \mathbb{R} \mid 3 < x < \frac{14}{3}\}.$$

$$\begin{aligned} (i) \quad \frac{x}{2x-3} \leq 3 &\Rightarrow \frac{x}{2x-3} \leq \frac{3(2x-3)}{2x-3} \Rightarrow \\ \frac{x-3(2x-3)}{2x-3} \leq 0 &\Rightarrow \frac{x-6x+9}{2x-3} \leq 0 \Rightarrow \\ \frac{-5x+9}{2x-3} \leq 0 &\Rightarrow \frac{5x-9}{2x-3} \geq 0 \\ 5x-9 \geq 0 &\Rightarrow x \geq \frac{9}{5} \end{aligned}$$

$$5x - 9 < 0 \Rightarrow x < \frac{9}{5}$$

$$2x - 3 \geq 0 \Rightarrow x \geq \frac{3}{2}$$

$$2x - 3 < 0 \Rightarrow x < \frac{3}{2}$$

$$\frac{5x - 9}{2x - 3} \geq 0 \text{ quando os sinais do denominador e numerador são iguais:}$$

$$S = \{x \in \mathbb{R} \mid x < \frac{3}{2} \text{ ou } x \geq \frac{9}{5}\}.$$

$$(j) \quad \frac{x - 1}{2 - x} < 1 \Rightarrow \frac{x - 1}{2 - x} < \frac{2 - x}{2 - x} \Rightarrow$$

$$\frac{x - 1 - 2 + x}{2 - x} < 0 \Rightarrow \frac{2x - 3}{2 - x} < 0$$

$$2x - 3 > 0 \Rightarrow x > \frac{3}{2}$$

$$2x - 3 < 0 \Rightarrow x < \frac{3}{2}$$

$$2 - x > 0 \Rightarrow x < 2$$

$$2 - x < 0 \Rightarrow x > 2$$

$$\frac{2x - 3}{2 - x} < 0 \text{ quando os sinais do denominador e numerador são diferentes:}$$

$$S = \{x \in \mathbb{R} \mid x < \frac{3}{2} \text{ ou } x > 2\}.$$

$$(l) \quad x(2x - 1)(x + 1) > 0$$

$$2x - 1 > 0 \Rightarrow x > \frac{1}{2}$$

$$2x - 1 < 0 \Rightarrow x < \frac{1}{2}$$

$$x + 1 > 0 \Rightarrow x > -1$$

$$x + 1 < 0 \Rightarrow x < -1$$

Os valores para que tenhamos  $x(2x - 1)(x + 1) > 0$ :

$$S = \{x \in \mathbb{R} \mid -1 < x < 0 \text{ ou } x > \frac{1}{2}\}.$$

$$(m) \quad (2x - 1)(x - 3) > 0$$

$$2x - 1 > 0 \Rightarrow x > \frac{1}{2}$$

$$2x - 1 < 0 \Rightarrow x < \frac{1}{2}$$



$$x - 3 > 0 \Rightarrow x > 3$$

$$x - 3 < 0 \Rightarrow x < 3$$

Devemos ter os sinais dos fatores iguais em  $(2x - 1)(x - 3) > 0$ :

$$S = \{x \in \mathbb{R} \mid x < \frac{1}{2} \text{ ou } x > 3\}.$$

$$(n) \quad (2x - 3)(x^2 + 1) < 0$$

$$x^2 + 1 > 0 \text{ para qualquer } x.$$

$$\text{Devemos ter } 2x - 3 < 0 \Rightarrow x < \frac{3}{2};$$

$$S = \{x \in \mathbb{R} \mid x < \frac{3}{2}\}.$$

$$(o) \quad \frac{x - 3}{x^2 + 1} < 0$$

$$x^2 + 1 > 0 \text{ para qualquer } x.$$

$$\text{Devemos ter } x - 3 < 0 \Rightarrow x < 3:$$

$$S = \{x \in \mathbb{R} \mid x < 3\}.$$

$$4. \quad x^3 + 0x^2 + 0x - a^3 \div \lfloor x - a:$$

$$\begin{array}{r|l} x^3 + 0x^2 + 0x - a^3 & x - a \\ - x^3 - ax^2 & \\ \hline ax^2 + 0x - a^3 & \\ - ax^2 - a^2x & \\ \hline a^2x - a^3 & \\ - a^2x - a^3 & \\ \hline 0 & \end{array}$$

$$5. \quad (c) \quad (x - a)(x^3 + ax^2 + a^2x + a^3) =$$

$$x^4 + ax^3 + a^2x^2 + a^2x^3 - ax^3 - a^2x^2 - a^3x - a^4 =$$

$$x^4 - a^4$$

$$(d) \quad (x - a)(x^4 + ax^3 + a^2x^2 + a^3x + a^4) =$$

$$x^5 + ax^4 + a^2x^3 + a^3x^2 + a^4x - ax^4 - a^2x^3 - a^3x^2 - a^4x - a^5 =$$

$$x^5 - a^5$$

$$(e) \quad (x - a)(x^{n-1} + ax^{n-2} + a^2x^{n-3} + \dots + a^{n-2}x + a^{n-1}) =$$

$$x^n + ax^{n-1} + a^2x^{n-2} + \dots + a^{n-2}x^2 + a^{n-1}x$$

$$-ax^{n-1} - a^2x^{n-2} - a^3x^{n-3} - \dots - a^{n-1}x - a^n =$$

$$x^n - a^n$$

$$6. \quad (h) \quad \frac{\frac{1}{x} - \frac{1}{p}}{x - p} = \frac{\frac{p-x}{xp}}{x-p} = \frac{p-x}{(x-p)xp} = -\frac{1}{xp}.$$

$$(i) \quad \frac{\frac{1}{x^2} - \frac{1}{p^2}}{x-p} = \frac{\frac{p^2-x^2}{x^2p^2}}{x-p} = \frac{p^2-x^2}{x^2p^2(x-p)} = \frac{(p-x)(p+x)}{-x^2p^2(p-x)} = -\frac{x+p}{x^2p^2}.$$

$$(k) \quad \frac{x^4 - p^4}{x-p} = \frac{(x-p)(x^3 + px^2 + p^2x + p^3)}{(x-p)} = x^3 + px^2 + p^2x + p^3$$

$$(l) \quad \frac{(x+h)^2 - x^2}{h} = \frac{x^2 + 2hx + h^2 - x^2}{h} =$$

$$\frac{2hx + h^2}{h} = \frac{h(2x+h)}{h} = 2x + h$$

$$(m) \quad \frac{\frac{1}{x+h} - \frac{1}{x}}{h} = \frac{\frac{x-x-h}{x(x+h)}}{h} = \frac{\frac{-h}{x(x+h)}}{h} = \frac{-h}{x(x+h)h} = -\frac{1}{x(x+h)}$$

$$(n) \quad \frac{(x+h)^3 - x^3}{h} = \frac{x^3 + 3hx^2 + 3h^2x + h^3 - x^3}{h} =$$

$$\frac{3hx^2 + 3h^2x + h^3}{h} = 3x^2 + 3xh + h^2$$

$$(o) \quad \frac{(x+h)^2 - (x-h)^2}{h} = \frac{(x^2 + 2hx + h^2) - (x^2 - 2hx + h^2)}{h} =$$

$$\frac{4hx}{h} = 4x$$

$$7. \quad (f) \quad \frac{x^2 - 4}{x^2 + 4} > 0 \Rightarrow \frac{(x+2)(x-2)}{x^2 + 4} > 0$$

O denominador será sempre positivo, devemos analisar o sinal do numerador  $(x+2)(x-2)$ :

$$x+2 > 0 \Rightarrow x > -2$$

$$x+2 < 0 \Rightarrow x < -2$$

$$x-2 > 0 \Rightarrow x > 2$$

$$x - 2 < 0 \Rightarrow x < 2$$

O numerador deve ser positivo, portanto os fatores do produto devem ter o mesmo sinal, temos isso quando  $x < -2$  ou  $x > 2$ .

$$(g) \quad (2x - 1)(x^2 - 4) \leq 0 \Rightarrow (2x - 1)(x + 2)(x - 2) \leq 0$$

O produto deve ter seus fatores todos negativos ou ao menos um deles com valor 0 ou, finalmente, dois positivos e um negativo. Temos então os sinais de cada expressão:

$$2x - 1 \leq 0 \Rightarrow x \leq \frac{1}{2}$$

$$2x - 1 > 0 \Rightarrow x > \frac{1}{2}$$

$$x + 2 \leq 0 \Rightarrow x \leq -2$$

$$x + 2 > 0 \Rightarrow x > -2$$

$$x - 2 \leq 0 \Rightarrow x \leq 2$$

$$x - 2 > 0 \Rightarrow x > 2$$

Para termos  $(2x - 1)(x^2 - 4) = 0$ , basta termos  $x = \frac{1}{2}$  ou  $x = -2$  ou  $x = 2$ .

Para termos  $(2x - 1)(x^2 - 4) < 0$ , com os três fatores acima mencionados negativos, devemos ter  $x < -2$ .

Finalmente para termos  $(2x - 1)(x^2 - 4) < 0$ , com dois fatores positivos e um negativo. Analisando a seguir todas as possibilidades:

$x < \frac{1}{2}$  e  $x > -2$  e  $x > 2$  não é possível.

$x > \frac{1}{2}$  e  $x < -2$  e  $x > 2$  não é possível.

$x > \frac{1}{2}$  e  $x > -2$  e  $x < 2$  nos dá  $\frac{1}{2} < x < 2$ .

Logo as soluções são  $x \leq -2$  ou  $\frac{1}{2} \leq x \leq 2$ .

$$(h) \quad 3x^2 \geq 48 \Rightarrow x^2 \geq 16 \Rightarrow (x - 4)(x + 4) \geq 0$$

Estudando o sinal do produto, devemos ter as duas expressões com mesmo sinal ou alguma delas com valor zero:

$$x - 4 > 0 \Rightarrow x > 4$$

$$x - 5 < 0 \Rightarrow x < 5$$

$$x + 5 > 0 \Rightarrow x > -5$$

$$x + 5 < 0 \Rightarrow x < -5$$

Devemos ter:

$$x > 5 \text{ e } x > -5, \text{ que nos dá } x > 5.$$

ou

$$x < 5 \text{ e } x < -5 \text{ que nos dá } x < -5.$$

A solução portanto é ou  $x \leq -5$  ou  $x \geq 5$

- (i)  $x^2 < r^2 \Rightarrow (x-r)(x+r) < 0$  Estudando o sinal do produto, devemos ter as duas expressões com sinais opostos:

$$x - r > 0 \Rightarrow x > r$$

$$x - r < 0 \Rightarrow x < r$$

$$x + r > 0 \Rightarrow x > -r$$

$$x + r < 0 \Rightarrow x < -r$$

Devemos ter:

$$x > r \text{ e } x < -r, \text{ que é impossível.}$$

ou

$$x < r \text{ e } x > -r \text{ que nos dá } -r < x < r.$$

- (j)  $x^2 \geq r^2 \Rightarrow (x-r)(x+r) \geq 0$  Estudando o sinal do produto, devemos ter as duas expressões com mesmo sinal ou alguma delas com valor zero:

$$x - r > 0 \Rightarrow x > r$$

$$x - r < 0 \Rightarrow x < r$$

$$x + r > 0 \Rightarrow x > -r$$

$$x + r < 0 \Rightarrow x < -r$$

Devemos ter:

$$x > r \text{ e } x > -r, \text{ que nos dá } x > r.$$

ou

$$x < r \text{ e } x < -r \text{ que nos dá } x < -r.$$

A solução portanto é ou  $x \leq -r$  ou  $x \geq r$

$$8. \quad (a) \quad a \left[ \left( x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{(b^2 - 4ac)}{4a^2} \right] = a \left[ x^2 + \frac{2xb}{2a} + \frac{b^2}{4a^2} - \frac{b^2 + 4ac}{4a^2} \right] =$$

$$= \boxed{ax^2 + bx + c}$$

$$(b) \quad a \left[ \left( \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{\Delta}{4a^2} \right] = a \left[ \left( \pm \frac{\sqrt{\Delta}}{2a} \right)^2 - \frac{\Delta}{4a^2} \right] =$$

$$= a \left[ \frac{\Delta}{4a^2} - \frac{\Delta}{4a^2} \right] = a \cdot 0 = \boxed{0}$$

$$(c) \quad x_1 + x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} + \frac{(-b - \sqrt{\Delta})}{2a} = \frac{-b + \sqrt{\Delta} - b - \sqrt{\Delta}}{2a} =$$

$$= \frac{-2b}{2a} = \boxed{\frac{-b}{a}}$$

$$x_1 \cdot x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} \cdot \frac{(-b - \sqrt{\Delta})}{2a} = \frac{b^2 - \Delta}{4a^2} = \frac{b^2 - b^2 + 4ac}{4a^2} = \boxed{\frac{c}{a}}$$

$$9. \quad a(x - x_1)(x - x_2) = a(x^2 - xx_2 - xx_1 + x_1x_2) =$$

$$= a[x^2 - x(x_2 + x_1) + x_1x_2] = a \left[ x^2 - x \left( \frac{-b}{a} \right) + \frac{c}{a} \right] =$$

$$= \boxed{ax^2 + bx + c}$$

$$10. \quad (f) \quad 2x^2 - 3x + 1 = 2\left(x^2 - \frac{3}{2}x + \frac{1}{2}\right) = 2(x - 1)\left(x - \frac{1}{2}\right) = \boxed{(x - 1)(2x - 1)}$$

$$(g) \quad x^2 - 25$$

$$x_1 + x_2 = 0 \Rightarrow x_1 = -x_2$$

$$x_1x_2 = -25 \Rightarrow (-x_1)x_1 = -25 \Rightarrow x_1^2 = 25 \Rightarrow x_1 = 5 \text{ e } x_2 = -5$$

$$\boxed{(x - 5)(x + 5)}$$

$$(h) \quad 3x^2 + x - 2 = 3\left(x^2 + \frac{1}{3}x - \frac{2}{3}\right) = 3(x + 1)\left(x - \frac{2}{3}\right) = \boxed{(x + 1)(3x - 2)}$$

$$(i) \quad 4x^2 - 9 \quad x_1 + x_2 = 0 \Rightarrow x_1 = -x_2$$

$$x_1x_2 = -\frac{9}{4} \Rightarrow (-x_1)x_1 = -\frac{9}{4} \Rightarrow x_1^2 = \frac{9}{4} \Rightarrow x_1 = \frac{3}{2} \text{ e } x_2 = -\frac{3}{2}$$

$$4\left(x + \frac{3}{2}\right)\left(x - \frac{3}{2}\right) = \boxed{(2x + 3)(2x - 3)}$$

$$(j) \quad 2x^2 - 5x$$

$$x_1x_2 = 0 \Rightarrow x_1 = 0$$

$$x_1 + x_2 = \frac{5}{2} \Rightarrow x_2 = \frac{5}{2}$$

$$2x(x - \frac{5}{2}) = \boxed{x(2x - 5)}$$

11. (f)  $x_1 + x_2 = -\frac{1}{3}$  e  $x_1 x_2 = -\frac{2}{3}$

$$x_1 = \frac{2}{3} \text{ e } x_2 = -1$$

$$3x^2 + x - 2 > 0 \Rightarrow 3(x+1)(x - \frac{2}{3}) > 0 \Rightarrow (x+1)(x - \frac{2}{3}) > 0$$

Temos os seguintes sinais para cada fator do produto:

$$x + 1 > 0 \text{ quando } x > -1$$

$$x + 1 > 0 \text{ quando } x < -1$$

$$x - \frac{2}{3} > 0 \text{ quando } x > \frac{2}{3}$$

$$x - \frac{2}{3} < 0 \text{ quando } x < \frac{2}{3}$$

Para termos  $(x+1)(x - \frac{2}{3}) > 0$ , os fatores devem possuir o mesmo

sinal:

$$x > \frac{2}{3} \text{ ou } x < -1$$

(g)  $x_1 + x_2 = 4$  e  $x_1 x_2 = 4$

$$x_1 = x_2 = 2$$

$$x^2 - 4x + 4 > 0 \Rightarrow (x-2)(x-2) > 0 \Rightarrow (x-2)^2 > 0$$

A equação é sempre positiva, exceto em  $x = 2$ .

A solução é  $x \neq 2$ .

(h)  $x_1 + x_2 = \frac{1}{3}$  e  $x_1 x_2 = 0$

$$x_1 = \frac{1}{3}$$

$$3x^2 - x \leq 0 \Rightarrow 3x(x - \frac{1}{3}) \leq 0 \Rightarrow x(x - \frac{1}{3}) \leq 0$$

Temos os seguintes sinais para cada fator do produto:

$$x - \frac{1}{3} > 0 \Rightarrow x > \frac{1}{3}$$

$$x - \frac{1}{3} \leq 0 \Rightarrow x \leq \frac{1}{3}$$

$$x > 0 \text{ ou } x \leq 0$$

Para termos  $x(x - \frac{1}{3}) \leq 0$ , os fatores devem possuir sinais opostos ou  $x = 0$  ou  $x = \frac{1}{3}$ :

$$0 \leq x \leq \frac{1}{3}$$

$$(i) \quad x_1 + x_2 = 1 \text{ e } x_1 x_2 = \frac{1}{4}$$

$$x_1 = x_2 = \frac{1}{2}$$

$$4x^2 - 4x + 1 < 0 \Rightarrow 4(x - \frac{1}{2})(x - \frac{1}{2}) < 0 \Rightarrow (x - \frac{1}{2})^2 < 0$$

A desigualdade não é possível para nenhum  $x$ .

$$(j) \quad x_1 + x_2 = 1 \text{ e } x_1 x_2 = \frac{1}{4}$$

$$x_1 = x_2 = \frac{1}{2}$$

$$4x^2 - 4x + 1 \leq 0 \Rightarrow 4(x - \frac{1}{2})(x - \frac{1}{2}) \leq 0 \Rightarrow (x - \frac{1}{2})^2 \leq 0$$

A inequação somente é possível para  $x = \frac{1}{2}$ .

12. (a) Por 8. a) temos:

$$ax^2 + bx + c = a \left[ \left( x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{\Delta}{4a^2} \right]$$

Observando o produto, do lado direito temos  $a > 0$  e a expressão entre colchetes é positiva sempre, pois temos um termo elevado ao quadrado e no outro,  $\frac{\Delta}{4a^2}$ , temos  $\Delta < 0$ , porém precedido por um sinal negativo, e dividido por  $4a^2$  que é positivo, conclui-se então que esse fator também é positivo e por consequência  $ax^2 + bx + c > 0$ .

(b) O raciocínio é similar ao item anterior, exceto que agora temos  $a < 0$  e portanto o produto  $a \left[ \left( x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{\Delta}{4a^2} \right]$  é negativo, o que nos dá  $ax^2 + bx + c < 0$ .

13. (f)  $(2x + 1)(x^2 + x + 1) \leq 0$

Estudando o sinal do produto, devemos ter as duas expressões com sinais opostos ou algum fator ser 0::

$$2x + 1 > 0 \Rightarrow x > -\frac{1}{2}$$

$$2x + 1 < 0 \Rightarrow x \leq -\frac{1}{2}$$

De acordo com o exercício 12 acima,  $x^2 + x + 1 > 0$ , pois  $\Delta = 1 - 4 \cdot 1 \cdot 1 = -3 < 0$ .

Logo  $(2x + 1)(x^2 + x + 1) \leq 0$  quando  $x \leq -\frac{1}{2}$ .

(g)  $x(x^2 + 1) \geq 0$

Estudando o sinal do produto, devemos ter as duas expressões com sinais iguais ou algum fator ser 0:

$x^2 + 1$  tem  $a = 1 > 0$  e  $\Delta = 0 - 4 \cdot 1 \cdot 1 = -4 < 0$ , que pelo exercício 12 nos dá  $x^2 + 1 > 0$ .

Logo devemos ter  $x \geq 0$ .

(h)  $(1 - x)(x^2 + 2x + 2) < 0$

Estudando o sinal do produto, devemos ter as duas expressões com sinais opostos:

$x^2 + 2x + 2$  tem  $a = 1 > 0$  e  $\Delta = 4 - 4 \cdot 1 \cdot 2 = -4 < 0$ , que pelo exercício 12 nos dá  $x^2 + 2x + 2 > 0$ .

Logo devemos ter  $1 - x < 0 \Rightarrow x > 1$ .

(i)  $\frac{2x - 3}{x^2 + 1} > 0$

Estudando o sinal da divisão, devemos ter as duas expressões com sinais iguais:  $x^2 + 1$  tem  $a = 1 > 0$  e  $\Delta = 0 - 4 \cdot 1 \cdot 1 = -4 < 0$ , que pelo exercício 12 nos dá  $x^2 + 1 > 0$ .

Portanto devemos ter  $2x - 3 > 0 \Rightarrow x > \frac{3}{2}$ .

(j)  $\frac{x}{x^2 + x + 1} \geq 0$

Estudando o sinal da divisão, devemos ter as duas expressões com sinais iguais ou  $x = 0$ :

$x^2 + x + 1$  tem  $a = 1 > 0$  e  $\Delta = 1 - 4 \cdot 1 \cdot 1 = -3 < 0$ , que pelo exercício 12 nos dá  $x^2 + x + 1 > 0$ .

Portanto devemos ter  $x \geq 0$

14. Primeiramente observa-se o fato de  $x^2 + 1$  ser sempre positivo, portanto



ao multiplicarmos ambos os lados da expressão  $\frac{5x+3}{x^2+1} \geq 5$  por  $x^2+1$  a direção da desigualdade não se altera:

$$\frac{5x+3}{x^2+1} \geq 5 \Rightarrow \frac{5x+3}{x^2+1} \cdot (x^2+1) \geq 5(x^2+1) \Rightarrow 5x+3 \geq 5(x^2+1).$$

Por outro lado dividimos  $5x+3 \geq 5(x^2+1)$  por  $x^2+1$  e temos:

$$\frac{5x+3}{x^2+1} \geq 5 \frac{(x^2+1)}{(x^2+1)} \Rightarrow \frac{5x+3}{x^2+1} \geq 5.$$

17. (d)  $2x^3 - x^2 - 1 = 0$

1 e -1 são os divisores de  $a_3 = -1$ , testando os dois valores na equação temos 1 como raiz inteira da equação.

(e)  $x^3 + x^2 + x - 14 = 0$

Os divisores inteiros de  $a_4 - 14$  são  $\pm 1, \pm 2, \pm 7$  e  $\pm 14$ .

Testando as 8 possibilidades temos:

$$1^3 + 1^2 + 1 - 14 = -11$$

$$-1^3 + (-1)^2 - 1 - 14 = -15$$

$$2^3 + 2^2 + 2 - 14 = 0, \text{ logo } 2 \text{ é raiz.}$$

$$-2^3 + (-2)^2 - 2 - 14 = -12$$

$$7^3 + 7^2 + 7 - 14 = 385$$

$$-7^3 + (-7)^2 - 7 - 14 = -315$$

$$14^3 + 14^2 + 14 - 14 = 2940$$

$$-14^3 + (-14)^2 - 14 - 14 = -2576$$

A única raiz inteira encontrada é 2.

(f)  $x^3 + 3x^2 - 4x - 12 = 0$

Os divisores inteiros de  $a_4 - 12$  são  $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 6$  e  $\pm 12$ .

Testando as 12 possibilidades temos:

$$1^3 + 3(1)^2 - 4(1) - 12 = -12$$

$$-1^3 + 3(-1)^2 - 4(-1) - 12 = -6$$

$$2^3 + 3(2)^2 - 4(2) - 12 = 0, \text{ logo } 2 \text{ é raiz}$$

$$-2^3 + 3(-2)^2 - 4(-2) - 12 = 0, \text{ logo } -2 \text{ é raiz.}$$

$$3^3 + 3(3)^2 - 4(3) - 12 = 30$$

$$-3^3 + 3(-3)^2 - 4(-3) - 12 = 0, \text{ logo } -3 \text{ é raiz.}$$

$$4^3 + 3(4)^2 - 4(4) - 12 = 84$$

$$-4^3 + 3(-4)^2 - 4(-4) - 12 = -12$$

$$6^3 + 3(6)^2 - 4(6) - 12 = 288$$

$$-6^3 + 3(-6)^2 - 4(-6) - 12 = -96$$

$$12^3 + 3(12)^2 - 4(12) - 12 = 2100$$

$$-12^3 + 3(-12)^2 - 4(-12) - 12 = -1260$$

As raízes inteiras são 2, -2 e -3.

19. (a)  $x^3 + 2x^2 - x - 2$

$$\begin{array}{c|cccc} 1 & 1 & 2 & -1 & -2 \\ \hline & 1 & 3 & 2 & 0 \end{array}$$

$$(x^2 + 3x + 2)(x - 1)$$

$$\begin{array}{c|ccc} -2 & 1 & 3 & 2 \\ \hline & 1 & 1 & 0 \end{array}$$

$$(x - 1)(x + 1)(x + 2).$$

(b)  $x^4 - 3x^3 + x^2 + 3x - 2$

$$\begin{array}{c|ccccc} -1 & 1 & -3 & 1 & 3 & -2 \\ \hline & 1 & -4 & 5 & -2 & 0 \end{array}$$

$$(x^3 - 4x^2 + 5x - 2)(x + 1)$$

$$\begin{array}{c|cccc} 1 & 1 & -4 & 5 & -2 \\ \hline & 1 & -3 & 2 & 0 \end{array}$$

$$(x + 1)(x - 1)(x^2 - 3x + 2)$$

$$\begin{array}{c|ccc} 1 & 1 & -3 & 2 \\ \hline & 1 & -2 & 0 \end{array}$$

$$(x+1)(x-1)^2(x-2).$$

$$(c) \quad \begin{aligned} &x^3 + 2x^2 - 3x \\ &(x^2 + 2x - 3)x \end{aligned}$$

$$\begin{array}{c|ccc} 1 & 1 & 2 & -3 \\ \hline & 1 & 3 & 0 \end{array}$$

$$(x+3)(x-1)x.$$

$$(d) \quad x^3 + 3x^2 - 4x - 12$$

$$\begin{array}{c|cccc} -2 & 1 & 3 & -4 & -12 \\ \hline & 1 & 1 & -6 & 0 \end{array}$$

$$(x^2 + x - 6)(x + 2)$$

$$\begin{array}{c|ccc} 2 & 1 & 1 & -6 \\ \hline & 1 & 3 & 0 \end{array}$$

$$(x+3)(x-2)(x+2).$$

$$(e) \quad x^3 + 6x^2 + 11x + 6$$

$$\begin{array}{c|cccc} -1 & 1 & 6 & 11 & 6 \\ \hline & 1 & 5 & 6 & 0 \end{array}$$

$$(x^2 + 5x + 6)(x + 1)$$

$$\begin{array}{c|ccc} -2 & 1 & 5 & 6 \\ \hline & 1 & 3 & 0 \end{array}$$

$$(x+2)(x+1)(x+3).$$

$$(f) \quad x^3 - 1$$

$$\begin{array}{c|cccc} 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ \hline & 1 & 1 & 1 & 0 \end{array}$$

$$(x^2 + x + 1)(x - 1)$$

20. Podemos usar os resultados do exercício 19 neste exercício.

(a)  $x^3 - 1 > 0$

$$x^3 - 1 = (x^2 + x + 1)(x - 1) > 0$$

Devemos ter ambos os fatores de  $(x^2 + x + 1)(x - 1)$  com mesmo sinal:

Se  $x - 1 > 0$ ,  $x > 1$  e  $x^2 + x + 1 > 0$ , logo  $x > 1$  é solução da inequação.

Caso  $x - 1 < 0$ , temos  $x < 1$  e nesse caso  $x^2 + x + 1 > 0$ , o que nos dá  $(x^2 + x + 1)(x - 1) < 0$ , que não é solução da inequação.

A solução da inequação é  $x > 1$ .

(b)  $x^3 + 6x^2 + 11x + 6 < 0$   $(x + 1)(x + 2)(x + 3) < 0$

Basta estudarmos o sinal da última inequação, onde deveremos ter um número ímpar de elementos do produto negativos:

Com  $x < -3$ ,  $x < -2$  e  $x < -1$  temos a solução  $x < -3$ .

Nos casos com apenas um elemento negativo:

- $(x + 1) < 0$  nos dá  $x < -1$  e devemos ter  $x > -2, x > -3$ , o que nos dá  $x > -2$ .
- $(x + 2) < 0$  nos dá  $x < -2$  e devemos ter  $x > -1, x > -3$ , o que não é possível.
- $(x + 3) < 0$  nos dá  $x < -3$  e devemos ter  $x > -1, x > -2$ , mas não existe tal combinação.

Finalmente temos a outra solução da inequação:

$$-2 < x < -1.$$

É possível, e até mais prático, estudar os sinais acima graficamente.

(c)  $x^3 + 3x - 4x - 12 \geq 0$

Fatorando o polinômio temos:

$$(x-2)(x+2)(x+3) \geq 0$$

Estudando o sinal da inequação, devemos ter nenhum ou dois fatores do produto negativos:

Caso tenhamos nenhum, devemos ter:

$x-2 \geq 0$ ,  $x+2 \geq 0$  e  $x+3 \geq 0$  o que resulta em, respectivamente,  $x \geq 2$ ,  $x \geq -2$  e  $x \geq -3$ . Logo devemos ter  $x \geq 2$  para obtermos  $x^3 + 3x - 4x - 12 \geq 0$  nesse caso.

Com dois fatores negativos:

- $x-2 \leq 0$  e  $x+2 \leq 0$  resultam em, respectivamente,  $x \leq 2$  e  $x \leq -2$ . Devemos ter  $x \geq -3$ , que resulta na solução:

$$-3 \leq x \leq -2$$

- $x-2 \leq 0$  e  $x+3 \leq 0$  resultam em, respectivamente,  $x \leq 2$  e  $x \leq -3$ . Devemos ter  $x+2 \geq 0 \Rightarrow x \geq -2$ , que não é possível.

- $x+2 \leq 0$  e  $x+3 \leq 0$  resultam em, respectivamente,  $x \leq -2$  e  $x \leq -3$ . Devemos ter  $x-2 \geq 0 \Rightarrow x \geq 2$ , que não é possível.

As solução da inequação é  $x \geq 2$  ou  $-3 \leq x \leq -2$ .

(d)  $x^3 + 2x^2 - 3x < 0$

Fatorando o polinômio temos:

$$x(x-1)(x+3) < 0$$

Estudamos a seguir o sinal da inequação  $x(x-1)(x+3) < 0$ , devemos ter um número ímpar de elementos do produto negativos:

Com  $x < 0$ ,  $x-1 < 0 \Rightarrow x < 1$  e  $x+3 < 0 \Rightarrow x < -3$ , temos  $x < -3$ .

Nos casos com apenas um elemento negativo:

- Com  $x < 0$  devemos ter  $x-1 > 0$  e  $x+3 > 0$ , portanto respectivamente  $x > 1$  e  $x > -3$ , mas não existe tal combinação.
- $x-1 < 0$  nos dá  $x < 1$  e devemos ter  $x > 0$  e  $x > -3$ , o que resulta em  $0 < x < 1$
- $x+3 < 0$  nos dá  $x < -3$  e devemos ter  $x > 0$  e  $x > 1$ , mas não é possível tal combinação.

A solução da inequação é  $x < -3$  ou  $0 < x < 1$ .

21. Falsa. Para explicar basta darmos um contra-exemplo:

Se  $x = -1$  e  $y = 0$ , temos  $x < y$ , mas não  $x^2 < y^2$ , pois daí teríamos  $1 < 0$ , o que contradiz nossa proposição.

$$22. x^3 - y^3 = (x - y)(x^2 + xy + y^2)$$

Se  $x$  e  $y$  têm o mesmo sinal, temos  $(x^2 + xy + y^2) > 0$ .

Portanto devemos estudar o que ocorre quando  $x - y < 0$ , com a condição de  $x$  e  $y$  terem o mesmo sinal.

Se  $x > 0$  e  $y > 0$  temos  $x - y < 0 \Rightarrow x < y$ .

No caso de  $x < 0$  e  $y < 0$  temos, de forma similar,  $x - y < 0 \Rightarrow x < y$ .

Já quando ocorrem sinais opostos para  $x$  e  $y$ , temos apenas de avaliar o caso em que  $x < 0$  e  $y > 0$ .

Temos então:

$x^3 < 0 \Rightarrow x^2 > 0 \Rightarrow x < 0$  (a ordem da desigualdade vai sendo trocada em cada produto pelo inverso) e

$y^3 > 0 \Rightarrow y^2 > 0 \Rightarrow y > 0$  (a ordem permanece intacta em cada produto pelo inverso).

Finalmente pela lei da transitividade temos  $x < 0$  e  $0 < y \Rightarrow x < y$ .

Por outro lado:

$$x < y \Rightarrow x - y < 0$$

$$x > 0 \text{ e } y > 0 \Rightarrow x^2 + xy + y^2 > 0 \text{ e}$$

$$x < 0 \text{ e } y < 0 \Rightarrow x^2 + xy + y^2 > 0$$

Multiplicando-se os dois lados da inequação  $x - y < 0$  por  $x^2 + xy + y^2$  conserva a ordem da desigualdade:

$$(x - y)(x^2 + xy + y^2) < 0 \Rightarrow x^3 - y^3 < 0 \Rightarrow x^3 < y^3.$$

Caso tenhamos  $x$  e  $y$  com sinais diferentes, pegamos apenas o caso em que  $x < 0$  e  $y > 0$ , pois o contrário não existe para  $x < y$ .

Temos então:

$$x < 0 \Rightarrow x^2 > 0 \Rightarrow x^3 < 0 \text{ (a ordem da desigualdade vai sendo trocada)}$$

em cada produto) e

$y > 0 \Rightarrow y^2 > 0 \Rightarrow y^3 > 0$  (a ordem permanece intacta em cada produto).

Finalmente pela lei da transitividade temos  $x^3 < 0$  e  $0 < y^3 \Rightarrow x^3 < y^3$ .

23. (a)  $x.0 = x(0)$ , (A1)

$$x(0) = x(z + (-z)), \text{ (A4)}$$

$$x(z + (-z)) = xz - xz, \text{ (D)}$$

$$xz - xz = xz + (-xz), \text{ (A1)}$$

Finalmente temos:  $xz + (-xz) = 0$ , (A4).

(b) Para o primeiro caso:

$$x + (-x) = 0, \text{ (A4)}$$

$$y(x + (-x)) = y.0, \text{ combinando (O2) com (OM)}$$

$$yx + y(-x) = 0, \text{ (D) e (a) acima}$$

$$xy + (-x)y = 0, \text{ (M2)}$$

$$xy + (-x)y + (-xy) = -xy, \text{ combinando (O2) com (OA)}$$

$$(-x)y + xy + (-xy) = -xy, \text{ (A2)}$$

$$(-x)y = -xy, \text{ (A3)}$$

No segundo caso:

$$y + (-y) = 0, \text{ (A4)}$$

$$x(y + (-y)) = x.0, \text{ combinando (O2) com (OM)}$$

$$xy + x(-y) = 0, \text{ (D) e (a) acima}$$

$$xy + x(-y) + (-xy) = -xy, \text{ combinando (O2) com (OA)}$$

$$x(-y) + xy + (-xy) = -xy, \text{ (A2)}$$

$$x(-y) = -xy, \text{ (A3)}$$

No terceiro:

$$(-x) + x = 0, \text{ (A4) e (A2)}$$

$$(-y)((-x) + x) = (-y).0, \text{ combinando (O2) com (OM)}$$

$$(-y)(-x) + (-y)x = 0, \text{ (D) e (a) acima}$$

$$(-x)(-y) + x(-y), \text{ (M2)}$$

$(-x)(-y) + x(-y) + xy = xy$ , combinando (O2) com (OA)

$$(-x)(-y) = xy, \text{ (A4)}$$

(c)  $x^2 \geq 0$

$$x \leq 0 \text{ ou } 0 \leq x, \text{ (O4)}$$

Se  $x \leq 0$ :

$$x - (-x) \leq 0 + (-x), \text{ (OA)}$$

$$0 \leq -x, \text{ (A4)}$$

$$(-x)0 \leq (-x)(-x), \text{ (OM)}$$

Considerando o item (a) acima, temos:

$$0 \leq x^2.$$

Se  $x \geq 0$ :

$$xx \geq x.0, \text{ (OM)}$$

Considerando o item (a) acima, temos:

$$x^2 \geq 0.$$

(d)  $1 > 0$

$$0 \leq 1 \text{ e } 0 \leq 1 \text{ nos dá } 0.1 \leq 1.1 = 1^2, \text{ (OM)}$$

$$\text{Por (M3) } 1.1 = 1 \text{ com } 1 \neq 0$$

$$\text{Logo temos } 1^2 > 0.$$

(e)  $x > 0 \Leftrightarrow x^{-1} > 0$

Primeiramente temos:

$$x > 0 \Rightarrow x^{-1}x > x^{-1}0 \text{ (OM)}$$

$$\Rightarrow x^{-1}x^{-1}x > x^{-1}x^{-1}0 \text{ (OM)}$$

$$\Rightarrow x^{-1}(x^{-1}x) > x^{-1}x^{-1}0 \text{ (M1)}$$

$$\Rightarrow x^{-1}1 > x^{-1}x^{-1}0 \text{ (M4)}$$

$$\Rightarrow x^{-1} > (x^{-1}x^{-1})0 \text{ (M1)}$$

$$\Rightarrow x^{-1} > (x^{-1}x^{-1})(z + (-z)) \text{ (A4)}$$

$$\Rightarrow x^{-1} > (x^{-1}x^{-1})z + (x^{-1}x^{-1})(-z) \text{ (D)}$$

$$\Rightarrow x^{-1} > 0 \text{ (A4)}$$

Na direção contrária temos:

$$x^{-1} > 0 \Rightarrow x.x^{-1} > x.0 \text{ (OM)}$$



$$\begin{aligned}
&\Rightarrow x.x.x^{-1} > x.x.0 \text{ (OM)} \\
&\Rightarrow x.(x.x^{-1}) > x.x.0 \text{ (M1)} \\
&\Rightarrow x.1 > x.x.0 \text{ (M4)} \\
&\Rightarrow x > (x.x)0 \text{ (M1)} \\
&\Rightarrow x > (x.x)(z + (-z)) \text{ (A4)} \\
&\Rightarrow x > (x.x)z + (x.x)(-z) \text{ (D)} \\
&\Rightarrow x > 0 \text{ (A4)}
\end{aligned}$$

(f)  $xy = 0 \Leftrightarrow x = 0$  ou  $y = 0$

Por a), qualquer número multiplicado por 0 resulta em 0, logo como

$xy = 0$  e considerando, primeiramente,  $x \neq 0$  e  $x^{-1}x = 1$  (M4):

$$x^{-1}(xy) = (x^{-1}x)y = 1 \cdot y = 0 \Leftrightarrow y = 0, \text{ utilizando (M1) e (M4)}$$

De forma similar chegamos à  $x = 0$ , com  $y \neq 0$ .

Finalmente quando  $x = 0$  e  $y = 0$ , podemos fazer, de acordo com

(A4),  $x = z - z$  e  $y = w - w$ , daí temos:

$$(z - z)(w - w) = (z - z)w - (z - z)w = zw - zw - (zw - zw) = 0 - 0 = 0,$$

utilizando (D) e (A4).

(g)  $x^2 = y^2 \Leftrightarrow x = y$  ou  $x = -y$

$$x^2 = y^2 \Leftrightarrow x^2 - y^2 = 0 \text{ (A4)}$$

$$\Leftrightarrow x^2 - y^2 + 0 = 0 \text{ (A3)}$$

$$\Leftrightarrow x^2 - y^2 + xy - xy = 0 \text{ (A4)}$$

$$\Leftrightarrow x^2 + xy - xy - y^2 = 0 \text{ (A2)}$$

$$\Leftrightarrow x(x + y) - y(x + y) = 0 \text{ (D)}$$

$$\Leftrightarrow (x + y)(x - y) = 0 \text{ (D)}$$

$$\Leftrightarrow x + y = 0 \text{ ou } x - y = 0, \text{ letra f) acima}$$

$$\Leftrightarrow x = -y \text{ ou } x = y \text{ (A4)}$$

(h)  $Sex \geq 0$  e  $y \geq 0$ ,  $x^2 = y^2 \Leftrightarrow x = y$

$$x^2 = y^2 \Leftrightarrow x^2 - y^2 = 0 \text{ (A4)}$$

$$\Leftrightarrow x^2 - y^2 + 0 = 0 \text{ (A3)}$$

$$\Leftrightarrow x^2 - y^2 + xy - xy = 0 \text{ (A4)}$$

$$\Leftrightarrow x^2 + xy - y^2 - xy = 0 \text{ (A2)}$$

$$\Leftrightarrow x(x+y) - y(x+y) = 0 \text{ (D)}$$

$$\Leftrightarrow (x-y)(x+y) = 0 \text{ (D)}$$

$$\Leftrightarrow x-y=0 \text{ ou } x+y=0, \text{ letra f) acima.}$$

Temos  $x = -y$  impossível, pois viola a condição de  $x \geq 0$ , já  $x = y$  é possível, pois ambos devem ser positivos.

### 1.3 Módulo de um Número Real

1. (a)  $|-5| + |-2| = -(-5) - (-2) = 5 + 2 = 7.$

(b)  $|-5 + 8| = |3| = 3.$

(c)  $|-a| = -(-a) = a.$

(d)  $|a|$ ,  $a < 0$

Como  $a < 0$ ,  $|a| = -a$

(e)  $|-a|$

Quando  $-a \leq 0$  temos  $a \geq 0$  e portanto  $|-a| = -(-a) = a.$

Quando  $-a > 0$  temos  $a < 0$  e portanto  $|-a| = -a.$

(f)  $|2a| - |3a|$

$$|2a| - |3a| = |2||a| - |3||a| = (|2| - |3|)|a| = (2 - 3)|a| = (-1)|a|.$$

Caso  $a \geq 0$ , teremos  $(-1) \cdot a = -a.$

Caso  $a < 0$ , teremos  $(-1) \cdot (-a) = a.$

2. (a)  $|x| = 2$

$x = 2$  quando  $x \geq 0$  ou  $x = -2$  quando  $x < 0.$

(b)  $|x + 1| = 3$

$$x + 1 > 0 \Rightarrow x + 1 = 3 \Rightarrow x = 2$$

$$x + 1 \leq 0 \Rightarrow -(x + 1) = 3 \Rightarrow x + 1 = -3 \Rightarrow x = -4.$$

(c)  $|2x - 1| = 1$

$$2x - 1 > 0 \Rightarrow 2x - 1 = 1 \Rightarrow 2x = 2 \Rightarrow x = 1$$

$$2x - 1 \leq 0 \Rightarrow -(2x - 1) = 1 \Rightarrow 2x - 1 = -1 \Rightarrow 2x = 0 \Rightarrow x = 0.$$

(d)  $|x - 2| = -1$

Não existe solução, pois o módulo de um número é sempre positivo.

Podemos verificar o que ocorre quando tentamos solucionar a equação:

Se  $x - 2 \geq 0$ , temos  $x - 2 = -1 \Rightarrow x = 1$ , porém  $x - 2 = 1 - 2 = -1 < 0.$

Se  $x - 2 < 0$ , temos  $-(x - 2) = -1 \Rightarrow x = 3$ , porém  $3 - 2 = 1 > 0.$

Vemos então que existem contradições nos dois valores encontrados para  $x$ , logo não existe solução.

(e)  $|2x + 3| = 0$

Para  $2x + 3 \geq 0$ , temos  $2x + 3 = 0 \Rightarrow 2x = -3 \Rightarrow x = \frac{-3}{2}$ .

Para  $2x + 3 < 0$ , temos  $-(2x + 3) = 0 \Rightarrow -2x - 3 = 0 \Rightarrow -2x = 3 \Rightarrow x = \frac{-3}{2}$ .

(f)  $|x| = 2x + 1$

Para  $x \geq 0$ , temos  $x = 2x + 1 \Rightarrow x = -1$ .

Para  $x < 0$ , temos  $-x = 2x + 1 \Rightarrow 3x = -1 \Rightarrow x = \frac{-1}{3}$ .

3. (a)  $|x| \leq 1$

$$x > 0 \Rightarrow x \leq 1$$

$$x \leq 0 \Rightarrow -x \leq 1 \Rightarrow x \geq -1$$

$$-1 \leq x \leq 1$$

(b)  $|2x - 1| < 3$

$$2x - 1 > 0 \Rightarrow 2x - 1 < 3 \Rightarrow 2x < 4 \Rightarrow x < 2$$

$$2x - 1 < 0 \Rightarrow -(2x - 1) < 3 \Rightarrow 2x - 1 > -3 \Rightarrow 2x > -2 \Rightarrow x > -1$$

$$-1 < x < 2$$

(c)  $|2x - 1| < -2$ , não admite solução pois o módulo de um número real é sempre positivo ou igual à 0.

(d)  $|2x - 1| < \frac{1}{3}$

$$-\frac{1}{3} < 2x - 1 < \frac{1}{3} \Rightarrow -\frac{1}{3} + 1 < 2x < \frac{1}{3} + 1 \Rightarrow$$

$$\frac{2}{3} < 2x < \frac{4}{3} \Rightarrow \frac{2}{9} < x < \frac{4}{9}.$$

(e)  $|2x^2 - 1| < 1$

$$|2x^2 - 1| > 0 \Rightarrow 2x^2 - 1 < 1 \Rightarrow 2x^2 < 2 \Rightarrow x^2 < 1 \Rightarrow x < 1 \text{ ou}$$

$$x > -1 \text{ com } x \neq 0. \quad |2x^2 - 1| \leq 0 \Rightarrow 2x^2 - 1 > -1 \Rightarrow 2x^2 > 0 \Rightarrow$$

$$x^2 > 0 \Rightarrow x \neq 0$$

$$-1 < x < 1, x \neq 0.$$

(f)  $|x - 3| < 4$

$$-4 < x - 3 < 4 \Rightarrow -1 < x < 7.$$

(g)  $|x| > 3$

$$x > 0 \Rightarrow x > 3$$

$$x \leq 0 \Rightarrow -x > 3 \Rightarrow x < -3$$

$$x < -3 \text{ ou } x > 3.$$

(h)  $|x + 3| > 1$

$$\begin{aligned} |x + 3| > 1 &\Leftrightarrow |x + 3|^2 > 1^2 \Leftrightarrow (x + 3)^2 > 1^2 \Leftrightarrow (x + 3)^2 - 1^2 > 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow [(x + 3) - 1][(x + 3) + 1] > 0 \Leftrightarrow (x + 2)(x + 4) > 0 \end{aligned}$$

Para se obter  $(x + 2)(x + 4) > 0$ , devemos ter as expressões  $(x + 2)$  e  $(x + 4)$  com mesmo sinal:

$$x + 2 < 0 \text{ e } x + 4 < 0 \text{ nos dá } x < -2 \text{ e } x < -4, \text{ logo devemos ter } x < -4$$

$$x + 2 > 0 \text{ e } x + 4 > 0 \text{ nos dá } x > -2 \text{ e } x > -4, \text{ logo devemos ter } x > -2$$

A solução é  $x < -4$  ou  $x > -2$

(i)  $|2x - 3| > 3$

$$\begin{aligned} |2x - 3| > 3 &\Leftrightarrow |2x - 3|^2 > 3^2 \Leftrightarrow (2x - 3)^2 > 3^2 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (2x - 3)^2 - 3^2 > 0 \Leftrightarrow (2x - 3 - 3)(2x - 3 + 3) > 0 \Leftrightarrow (2x - 6)(2x) > 0 \end{aligned}$$

Para se obter  $(2x - 6)(2x) > 0$ , devemos ter as expressões  $(2x - 6)$  e  $2x$  com mesmo sinal:

$$2x - 6 < 0 \text{ e } 2x < 0, \text{ resulta em } x < 3 \text{ e } x < 0, \text{ logo deve-se ter } x < 0.$$

$$2x - 6 > 0 \text{ e } 2x > 0, \text{ resulta em } x > 3 \text{ e } x > 0, \text{ logo deve-se ter } x > 3.$$

(j)  $|2x - 1| < x$

$$\begin{aligned} |2x - 1| < x &\Leftrightarrow |2x - 1|^2 < x^2 \Leftrightarrow (2x - 1)^2 < x^2 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (2x - 1)^2 - x^2 < 0 \Leftrightarrow (2x - 1 - x)(2x - 1 + x) < 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (x - 1)(3x - 1) < 0 \end{aligned}$$

Para se obter  $(x - 1)(3x - 1) < 0$ , as expressões  $(x - 1)$  e  $(3x - 1)$  devem ter sinais opostos:

$$x - 1 > 0 \text{ e } 3x - 1 < 0, \text{ resulta em } x > 1 \text{ e } x < 1/3, \text{ que não soluciona a inequação.}$$

$$x - 1 < 0 \text{ e } 3x - 1 > 0, \text{ resulta em } x < 1 \text{ e } x > 1/3, \text{ que resulta no intervalo } \frac{1}{3} < x < 1.$$

$$(l) |x + 1| < |2x - 1|$$

$$\begin{aligned} |x + 1| < |2x - 1| &\Leftrightarrow |x + 1|^2 < |2x - 1|^2 \Leftrightarrow (x + 1)^2 < (2x - 1)^2 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (x + 1)^2 - (2x - 1)^2 < 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow [(x + 1) - (2x - 1)] \cdot [(x + 1) + (2x - 1)] < 0 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (x + 1 - 2x + 1)(x + 1 + 2x - 1) \Leftrightarrow (-x + 2)(3x) < 0. \end{aligned}$$

Para se obter  $(-x + 2)(3x) < 0$ , as expressões  $(-x + 2)$  e  $3x$  devem ter sinais opostos:

$-x + 2 < 0$  e  $3x > 0$ , resulta em  $x > 2$  e  $x > 0$ , logo deve-se ter  $x > 2$ .

$-x + 2 > 0$  e  $3x < 0$ , resulta em  $x < 2$  e  $x < 0$ , logo deve-se ter  $x < 0$ .

$$(m) |x - 1| - |x + 2| > x$$

Neste caso é necessário avaliar quatro combinações com relação aos resultados dos módulos, de acordo com o sinal da expressão no módulo:

- $x - 1 > 0$  e  $x + 2 > 0$ , resulta em  $x > 1$  e  $x > -2$ , logo tem-se essa combinação com  $x > 1$

$$x - 1 - x + 2 > x \Leftrightarrow 1 > x \Leftrightarrow x < 1$$

- $x - 1 > 0$  e  $x + 2 < 0$ , resulta em  $x > 1$  e  $x < -2$ , que não é possível.

- $x - 1 < 0$  e  $x + 2 > 0$ , resulta em  $x < 1$  e  $x > -2$ , logo tem-se essa combinação com  $-2 < x < 1$

$$\begin{aligned} -(x - 1) - (x + 2) > x &\Leftrightarrow -x + 1 - x - 2 > x \Leftrightarrow -2x - 1 > x \Leftrightarrow \\ x - 1 > 3x &\Leftrightarrow x < \frac{-1}{3} \end{aligned}$$

- $x - 1 < 0$  e  $x + 2 < 0$ , resulta em  $x < 1$  e  $x < -2$ , logo tem-se essa combinação com  $x < -2$

$$-(x - 1) - [-(x + 2)] > x \Leftrightarrow -x + 1 + x + 2 > x \Leftrightarrow 3 > x \Leftrightarrow x < 3.$$

Finalmente, dos resultados acima, chega-se ao resultado  $x < \frac{-1}{3}$

$$(n) |x - 3| < x + 1$$

$$\begin{aligned} |x - 3| < x + 1 &\Leftrightarrow |x - 3|^2 < (x + 1)^2 \Leftrightarrow (x - 3)^2 < (x + 1)^2 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow (x - 3)^2 - (x + 1)^2 < 0 \Leftrightarrow [(x - 3) - (x + 1)] \cdot [(x - 3) + (x + 1)] < 0 \Leftrightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow (x-3-x-1)(x-3+x+1) < 0 \Leftrightarrow -4(2x-2) < 0 \Leftrightarrow -(2x-2) < 0 \\ &\Leftrightarrow 0 < 2x-2 \\ &\Leftrightarrow -2x+2 < 0 \Leftrightarrow -2x < -2 \Leftrightarrow x > 1. \end{aligned}$$

$$(o) \quad |x-2| + |x-1| > 1$$

Quando  $x-2 < 0 \Rightarrow x < 2$ ,  $|x-2| = -x+2$ . Já caso  $x-2 \geq 0 \Rightarrow x \geq 2$ ,  $|x-2| = x-2$ .

Quando  $x-1 < 0 \Rightarrow x < 1$ ,  $|x-1| = -x+1$ . Já caso  $x-1 \geq 0 \Rightarrow x \geq 1$ ,  $|x-1| = x-1$ .

- Quando  $x-2 < 0$  e  $x-1 < 0$ ,  $x < 1$ , tem-se:  
 $-x+2-x-1 > 1 \Leftrightarrow -2x+1 > 1 \Leftrightarrow x < 0$
- Quando  $x-2 < 0$  e  $x-1 \geq 0$ ,  $1 \leq x < 2$ .  
 $-x+2+x-1 = 1 > 1$ . Sem solução nesse caso.
- Quando  $x-2 \geq 0$  e  $x-1 \geq 0$ ,  $x \geq 2$ , tem-se:  
 $x-2+x-1 > 1 \Leftrightarrow 2x-3 > 1 \Leftrightarrow 2x > 4 \Leftrightarrow x > 2$ .

A solução da inequação é  $x < 1$  ou  $x > 2$ .

4. Dado  $r > 0$ , provar:

$$|x| > r \Leftrightarrow x < -r \text{ ou } x > r$$

$$x > 0 \Rightarrow x > r$$

$$x \leq 0 \Rightarrow -x > r \Rightarrow x < -r$$

Logo  $|x| > r \Rightarrow x < -r$  ou  $x > r$ .

Por outro lado:

$$x > r \text{ com } r > 0 \Rightarrow x^2 > r^2 \Rightarrow \sqrt{x^2} > \sqrt{r^2} \Rightarrow |x| > r.$$

No caso de  $x < -r$  com  $r > 0$  temos:

$$x < -r \text{ com } x < 0 \Rightarrow -x > r \Rightarrow (-x)^2 > r^2 \Rightarrow \sqrt{(-x)^2} > \sqrt{r^2} \Rightarrow |x| > r.$$

$$5. \quad (a) \quad |x+1| + |x|$$

Devemos averiguar as quatro combinações de sinais para as duas expressões nos módulos:

Para  $x+1 > 0$  e  $x > 0$ , temos  $x > -1$  e  $x > 0$ , ou seja,  $x > 0$ :

$$x+1+x = 2x+1$$

Para  $x + 1 > 0$  e  $x \leq 0$ , temos  $x > -1$  e  $x \leq 0$ , ou seja,  $-1 < x \leq 0$ :

$$x + 1 - x = 1$$

Para  $x + 1 \leq 0$  e  $x > 0$ , temos  $x < -1$  e  $x > 0$ , que não é possível.

Para  $x + 1 \leq 0$  e  $x \leq 0$ , temos  $x \leq -1$  e  $x \leq 0$ , ou seja,  $x \leq -1$ :

$$-(x + 1) - x = -2x - 1$$

Logo a solução é:

$$|x + 1| + |x| = \begin{cases} -2x - 1, & \text{se } x \leq -1 \\ 1, & \text{se } -1 < x \leq 0 \\ 2x + 1, & \text{se } x > 0 \end{cases}$$

(b)  $|x - 2| - |x + 1|$

Para  $x - 2 > 0$  e  $x + 1 > 0$ , temos  $x > 2$  e  $x > -1$ , ou seja,  $x > 2$ :

$$x - 2 - x - 1 = -3$$

Para  $x - 2 > 0$  e  $x + 1 \leq 0$ , não é possível haver  $x > 2$  e  $x < -1$ .

Para  $x - 2 \leq 0$  e  $x + 1 > 0$ , temos  $x \leq 2$  e  $x > -1$ , ou seja,  $-1 < x \leq 2$ :

$$-(x - 2) - (x + 1) = -x + 2 - x - 1 = -2x + 1$$

Para  $x - 2 \leq 0$  e  $x + 1 \leq 0$ , temos  $x \leq 2$  e  $x \leq -1$ , ou seja,  $x \leq -1$ :

$$-(x - 2) - [-(x + 1)] = -x + 2 + x + 1 = 3$$

Logo a solução é:

$$|x - 2| - |x + 1| = \begin{cases} 3, & \text{se } x \leq -1 \\ -2x + 1, & \text{se } -1 < x \leq 2 \\ -3, & \text{se } x > 2 \end{cases}$$

(c)  $|2x - 1| + |x - 2|$

Para  $x \leq \frac{1}{2}$ ,  $2x - 1 < 0$  e  $x - 2 < 0$ , assim temos:

$$-(2x - 1) - (x - 2) = -2x + 1 - x + 2 = -3x + 3.$$

Para  $x \geq 2$ ,  $2x - 1 \geq 0$  e  $x - 2 \geq 0$ , assim temos:

$$2x - 1 + x - 2 = 3x - 3.$$

Para  $\frac{1}{2} \leq x < 2$ ,  $2x - 1 \geq 0$  e  $x - 2 < 0$ , assim temos:



$$2x - 1 - (x - 2) = 2x - 1 - x + 2 = x + 1.$$

Logo a solução é:

$$|2x - 1| + |x - 2| = \begin{cases} -3x + 3, & \text{se } x \leq \frac{1}{2} \\ x + 1, & \text{se } \frac{1}{2} < x < 2 \\ 3x - 3, & \text{se } x \geq 2 \end{cases}$$

(d)  $|x| + |x - 1| + |x - 2|$

Para  $x \leq 0$ ,  $x \leq 0$ ,  $x - 1 < 0$  e  $x - 2 < 0$ , assim temos:

$$-(x) - (x - 1) - (x - 2) = -x - x + 1 - x + 2 = -3x + 3.$$

Para  $x \geq 2$ ,  $x > 0$ ,  $x - 1 > 0$  e  $x - 2 \leq 0$ , assim temos:

$$(x) + (x - 1) + (x - 2) = 3x - 3.$$

Para  $0 < x \leq 1$ ,  $x > 0$ ,  $x - 1 \leq 0$  e  $x - 2 < 0$ , assim temos:

$$(x) - (x - 1) - (x - 2) = x - x + 1 - x + 2 = -x + 3.$$

Para  $1 < x \leq 2$ ,  $x > 0$ ,  $x - 1 > 0$  e  $x - 2 \leq 0$ , assim temos:

$$(x) + (x - 1) - (x - 2) = x + x - 1 - x + 2 = x + 1.$$

Logo a solução é:

$$|x| + |x - 1| + |x - 2| = \begin{cases} -3x + 3, & \text{se } x \leq 0 \\ -x + 3, & \text{se } 0 < x \leq 1 \\ x + 1, & \text{se } 1 < x \leq 2 \\ 3x - 3, & \text{se } x \geq 2 \end{cases}$$

6.  $|x + y| = |x| + |y| \Leftrightarrow (|x + y|)^2 = (|x| + |y|)^2 \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow (x + y)^2 = |x|^2 + 2|x| \cdot |y| + |y|^2 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow x^2 + 2xy + y^2 = x^2 + 2|x| \cdot |y| + y^2 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow xy = |x| \cdot |y| \Leftrightarrow xy = |xy|$$

Pela definição do módulo de um número real,  $|xy| \geq 0$ , logo  $xy \geq 0$ .

Assim conclui-se:  $|x + y| = |x| + |y| \Leftrightarrow xy = |xy| \Leftrightarrow xy \geq 0$

7. (a)  $|x - y| \geq |x| - |y|$

$$|x| = |x + y - y| \leq |x - y| + |y| \Leftrightarrow |x - y| \geq |x| - |y|$$

$$(b) \quad |x - y| \geq |y| - |x|$$

$$\begin{aligned} |y| &= |y - x + x| = |-(x - y) + x| \leq |-(x - y)| + |x| = |x - y| + |x| \Leftrightarrow \\ &|x - y| \geq |y| - |x| \end{aligned}$$

$$(c) \quad ||x| - |y|| \leq |x - y|$$

$|x| - |y| \geq 0$  resulta em  $||x| - |y|| = |x| - |y| \leq |x - y|$  e conforme item a) acima fica provada a desigualdade.

$|x| - |y| \leq 0$  resulta em  $||x| - |y|| = |y| - |x| \leq |x - y|$  e conforme item b) acima fica provada a desigualdade.

Logo  $||x| - |y|| \leq |x - y|$ .

## 1.4 Intervalos

1. (a)  $4x - 3 < 6x + 2 \Leftrightarrow 4x - 6x < 2 + 3 \Leftrightarrow -2x < 5 \Leftrightarrow x > -\frac{5}{2}$   
 $\{x \in \mathbb{R} \mid 4x - 3 < 6x + 2\} = ] -\frac{5}{2}, +\infty[$
  - (b)  $|x| < 1 \Leftrightarrow -1 < x < 1$   
 $\{x \in \mathbb{R} \mid |x| < 1\} = ] -1, 1[$
  - (c)  $|2x - 3| \leq 1 \Leftrightarrow -1 \leq 2x - 3 \leq 1 \Leftrightarrow -1 + 3 \leq 2x \leq 1 + 3 \Leftrightarrow$   
 $\Leftrightarrow 2 \leq 2x \leq 4 \Leftrightarrow 1 \leq x \leq 2$   
 $\{x \in \mathbb{R} \mid |2x - 3| \leq 1\} = [1, 2]$
  - (d)  $3x + 1 < \frac{x}{3} \Leftrightarrow 3(3x + 1) < x \Leftrightarrow 9x + 3 < x \Leftrightarrow 8x < -3 \Leftrightarrow x < -\frac{3}{8}$   
 $\{x \in \mathbb{R} \mid 3x + 1 < \frac{x}{3}\} = ] -\infty, \frac{3}{8}[$
2.  $4 - r \geq 2, 4 + r \leq 5$  e  $r > 0$   
 $4 - r \geq 2 \Leftrightarrow -r \geq -2 \Leftrightarrow r \leq 2$   
 $4 + r \leq 5 \Leftrightarrow r \leq 1$ , logo  $0 < r \leq 1$ .
3.  $p - r \geq a$  e  $p + r \leq b$  com  $a < b$   
 $p - r \geq a \Leftrightarrow -r \geq a - p \Leftrightarrow r \leq p - a$   
 $p + r \leq b \Leftrightarrow r \leq b - p$   
 Como  $r > 0$ , tem-se  $0 < r \leq p - a$  ou  $0 < r \leq b - p$ .  
 r deve ser no máximo o menor valor dentre  $p - a$  e  $b - p$  para que não se ultrapasse o intervalo  $]a, b[$ .
4. (a)  $x^2 - 3x + 2 < 0 \Leftrightarrow (x - 2)(x - 1) < 0 \Leftrightarrow 1 < x < 2$ .  
 O conjunto solução da inequação é  $]1, 2[$
- (b)  $\frac{2x - 1}{x + 3} > 0 \Leftrightarrow 2x - 1 > 0$  e  $x + 3 > 0$  ou  $2x - 1 < 0$  e  $x + 3 < 0$ , logo:  
 $x > \frac{1}{2}$  e  $x > -3$  ou  $x < \frac{1}{2}$  e  $x < -3$ .  
 O conjunto solução da inequação é representado por:  
 $] \frac{1}{2}, +\infty[$  e  $] -\infty, -3[$ .  
 Obs.: Há algum erro no enunciado ou na solução apresentada no livro.

(c)  $x^2 + x + 1 > 0$  para todos os números reais, logo a solução é:

$$] -\infty, +\infty [.$$

(d)  $x^2 - 9 \leq 0 \Leftrightarrow x^2 - 3^2 \leq 0 \Leftrightarrow (x - 3)(x + 3) \leq 0 \Leftrightarrow -3 \leq x \leq 3$ .

O conjunto solução da inequação é  $] -3, 3[$

## 1.5 Propriedades dos Intervalos Encaixantes e Propriedade de Arquimedes

## 1.6 Existência de raízes

## Chapter 2

# Funções

## 2.1 Funções de Uma Variável Real a Valores Reais

1. (c)  $f(x) = x^2$  e  $ab \neq 0$ .

$$\begin{aligned} \frac{f(a+b) - f(a-b)}{ab} &= \frac{(a+b)^2 - (a-b)^2}{ab} = \frac{a^2 + 2ab + b^2 - (a^2 - 2ab + b^2)}{ab} = \\ &= \frac{a^2 + 2ab + b^2 - a^2 + 2ab - b^2}{ab} = \frac{4ab}{ab} = 4 \end{aligned}$$

- (d)  $f(x) = 3x + 1$  e  $ab \neq 0$ .

$$\begin{aligned} \frac{f(a+b) - f(a-b)}{ab} &= \frac{3(a+b) + 1 - [3(a-b) + 1]}{ab} = \frac{3a + 3b + 1 - (3a - 3b + 1)}{ab} = \\ &= \frac{3a + 3b + 1 - 3a + 3b - 1}{ab} = \\ &= \frac{6b}{ab} = \frac{6}{a} \end{aligned}$$

2. Simplifique  $\frac{f(x) - f(p)}{x - p}$  ( $x \neq p$ ):

- (i)  $f(x) = x^3$  e  $p$  qualquer.

$$\frac{f(x) - f(p)}{x - p} = \frac{x^3 - p^3}{x - p} = \frac{(x - p)(x^2 + xp + p^2)}{x - p} = x^2 + px + p^2$$

- (j)  $f(x) = \frac{1}{x}$  e  $p = 1$

$$\frac{f(x) - f(p)}{x - p} = \frac{\frac{1}{x} - \frac{1}{1}}{x - 1} = \frac{\frac{1-x}{x}}{\frac{x-1}{1}} = \frac{1-x}{x(x-1)} = -\frac{x-1}{x(x-1)} = -\frac{1}{x}$$

- (l)  $f(x) = \frac{1}{x}$  e  $p = 2$

$$\frac{f(x) - f(p)}{x - p} = \frac{\frac{1}{x} - \frac{1}{2}}{x - 2} = \frac{\frac{2-x}{2x}}{\frac{x-2}{1}} = \frac{2-x}{2x(x-2)} = -\frac{x-2}{2x(x-2)} = -\frac{1}{2x}$$

(m)  $f(x) = x^2 - 3x$  e  $p = -2$

$$\begin{aligned}\frac{f(x) - f(p)}{x - p} &= \frac{x^2 - 3x - [(-2)^2 - 3 \cdot (-2)]}{x - (-2)} = \frac{x^2 - 3x - (4 + 6)}{x + 2} \\ &= \frac{x^2 - 3x - 10}{x + 2} = \frac{(x + 2)(x - 5)}{x + 2} = x - 5\end{aligned}$$

(n)  $f(x) = \frac{1}{x^2}$  e  $p = 3$

$$\frac{f(x) - f(p)}{x - p} = \frac{\frac{1}{x^2} - \frac{1}{3^2}}{x - 3} = \frac{\frac{3^2 - x^2}{x^2 \cdot 3^2}}{x - 3} = \frac{3^2 - x^2}{3^2 x^2 (x - 3)} = -\frac{x^2 - 3^2}{3^2 x^2 (x - 3)} = -\frac{(x - 3)(x + 3)}{3^2 x^2 (x - 3)} = -\frac{x + 3}{9x^2}$$

(o)  $f(x) = \frac{1}{x^2}$  e  $p = -3$

$$\begin{aligned}\frac{f(x) - f(p)}{x - p} &= \frac{\frac{1}{x^2} - \frac{1}{(-3)^2}}{x - (-3)} = \frac{\frac{(-3)^2 - x^2}{(-3)^2 x^2}}{x + 3} = \frac{(-3)^2 - x^2}{(-3)^2 x^2 (x + 3)} = -\frac{x^2 - (-3)^2}{(-3)^2 x^2 (x + 3)} = \\ &= -\frac{(x + 3)(x - 3)}{(-3)^2 x^2 (x + 3)} = -\frac{x - 3}{9x^2}\end{aligned}$$

(p)  $f(x) = \frac{1}{x}$  e  $p \neq 0$

$$\frac{f(x) - f(p)}{x - p} = \frac{\frac{1}{x} - \frac{1}{p}}{x - p} = \frac{\frac{p - x}{xp}}{x - p} = \frac{p - x}{px(x - p)} = -\frac{x - p}{px(x - p)} = -\frac{1}{px}$$

(q)  $f(x) = \frac{1}{x^2}$  e  $p \neq 0$

$$\frac{f(x) - f(p)}{x - p} = \frac{\frac{1}{x^2} - \frac{1}{p^2}}{x - p} = \frac{\frac{p^2 - x^2}{x^2 p^2}}{x - p} = \frac{p^2 - x^2}{p^2 x^2 (x - p)} = -\frac{x^2 - p^2}{p^2 x^2 (x - p)} = -\frac{(x - p)(x + p)}{p^2 x^2 (x - p)} = -\frac{x + p}{p^2 x^2}$$

3. Simplifique  $\frac{f(x+h) - f(x)}{h}$  ( $h \neq 0$ ):

(j)  $f(x) = 2x^2 + x + 1$

$$\begin{aligned}\frac{f(x+h) - f(x)}{h} &= \frac{2(x+h)^2 + (x+h) + 1 - (2x^2 + x + 1)}{h} = \\ &= \frac{2(x^2 + 2xh + h^2) + x + h + 1 - 2x^2 - x - 1}{h} = \\ &= \frac{2x^2 + 4xh + 2h^2 + h - 2x^2}{h} = \\ &= \frac{4xh + 2h^2 + h}{h} = 4x + 2h + 1\end{aligned}$$

(l)  $f(x) = x^3$

$$\begin{aligned}\frac{f(x+h) - f(x)}{h} &= \frac{(x+h)^3 - x^3}{h} = \\ &= \frac{x^3 + 3x^2h + 3xh^2 + h^3 - x^3}{h} = \\ &= \frac{3x^2h + 3xh^2 + h^3}{h} = 3x^2 + 3xh + h^2\end{aligned}$$

(m)  $f(x) = x^3 + 2x$

$$\begin{aligned}\frac{f(x+h) - f(x)}{h} &= \frac{(x+h)^3 + 2(x+h) - (x^3 + 2x)}{h} = \\ &= \frac{x^3 + 3x^2h + 3xh^2 + h^3 + 2x + 2h - x^3 - 2x}{h} = \\ &= \frac{3x^2h + 3xh^2 + h^3 + 2h}{h} = 3x^2 + 3xh + h^2 + 2\end{aligned}$$

(n)  $f(x) = x^3 + x^2 - x$

$$\begin{aligned}\frac{f(x+h) - f(x)}{h} &= \frac{(x+h)^3 + (x+h)^2 - (x+h) - (x^3 + x^2 - x)}{h} = \\ &= \frac{x^3 + 3x^2h + 3xh^2 + h^3 + x^2 + 2xh + h^2 - x - h - x^3 - x^2 - x}{h} = \\ &= \frac{3x^2h + 3xh^2 + h^3 + 2hx + h^2 - h}{h} = \\ &= 3x^2 + 3xh + h^2 + 2x + h - 1\end{aligned}$$

(o)  $f(x) = 5$

$$\frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \frac{5 - 5}{h} = 0$$



(p)  $f(x) = \frac{1}{x}$

$$\frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \frac{\frac{1}{x+h} - \frac{1}{x}}{h} = \frac{\frac{x - (x+h)}{x(x+h)}}{h} = \frac{x - x - h}{x(x+h)h} = -\frac{h}{x(x+h)h} = -\frac{1}{x(x+h)}$$

(q)  $f(x) = 2x^3 - x$

$$\begin{aligned} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} &= \frac{2(x+h)^3 - (x+h) - (2x^3 - x)}{h} = \\ &= \frac{2(x^3 + 3x^2h + 3xh^2 + h^3) - x - h - 2x^3 + x}{h} = \\ &= \frac{2x^3 + 6x^2h + 6xh^2 + 2h^3 - x - h - 2x^3 + x}{h} = \\ &= \frac{6x^2h + 6xh^2 + 2h^3 - h}{h} = 6x^2 + 6xh + 2h^2 - 1 \end{aligned}$$

(r)  $f(x) = \frac{1}{x^2}$

$$\begin{aligned} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} &= \frac{\frac{1}{(x+h)^2} - \frac{1}{x^2}}{h} = \frac{\frac{x^2 - (x+h)^2}{(x+h)^2x^2}}{h} = \frac{x^2 - (x^2 + 2xh + h^2)}{(x+h)^2x^2h} = \\ &= \frac{x^2 - x^2 - 2xh - h^2}{(x+h)^2x^2h} = \frac{-2xh - h^2}{(x+h)^2x^2h} = -\frac{2x+h}{(x+h)^2x^2} \end{aligned}$$

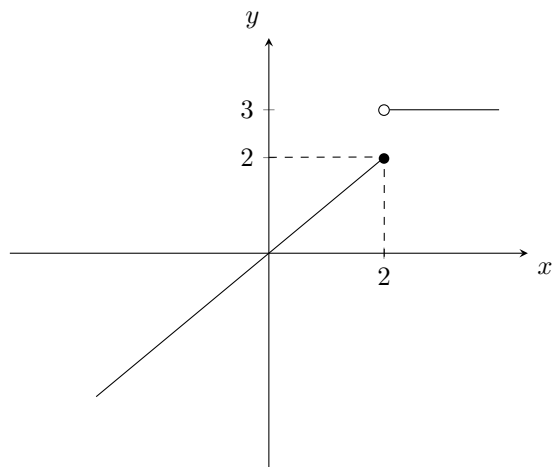
(s)  $f(x) = \frac{1}{x+2}$

$$\begin{aligned} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} &= \frac{\frac{1}{x+h+2} - \frac{1}{x+2}}{h} = \frac{\frac{x+2 - (x+h+2)}{(x+h+2)(x+2)}}{h} = \frac{x+2 - x - h - 2}{(x+h+2)(x+2)h} = \\ &= -\frac{h}{(x+h+2)(x+2)h} = -\frac{1}{(x+h+2)(x+2)} \end{aligned}$$

4. (j)

$$g(x) = \begin{cases} x, & \text{se } x \leq 2 \\ 3, & \text{se } x > 2 \end{cases}$$

$$D_g = \mathbb{R}$$



(l)

$$f(x) = \begin{cases} 2x, & \text{se } x \leq -1 \\ -x + 1, & \text{se } x > -1 \end{cases}$$

(m)

$$h(x) = |x - 1|$$

(n)

$$f(x) = |x + 2|$$

(o)

$$h(x) = \frac{x^2 - 1}{x - 1}$$

(p)

$$g(x) = \frac{x^2 - 2x + 1}{x - 1}$$

(q)

$$g(x) = \frac{|x|}{x}$$

(r)

$$g(x) = \frac{|x - 1|}{x - 1}$$

(s)

$$f(x) = \frac{|2x + 1|}{2x + 1}$$

6.

7.

8.

9.

10.

11.

12.

13.

14.

15.

16.

17.

18.

19.

20.

21.

22.

23.

24.

25.

26.

27.

28.

29.

30.

31.

32.

33.

34.

35.

36.

37.

38.

39.

40.

41.

42.

43.

44.

45.