1 Encontros

* Preferem horários fixos. * Enquete no moodle sobre horários.

2 Questões

$$\begin{aligned}\vec{u} &= u_1\vec{i} + u_2\vec{j} + u_3\vec{k}\\ \vec{v} &= v_1\vec{i} + v_2\vec{j} + v_3\vec{k}\end{aligned}$$

Como $\vec{u}$ e $\vec{v}$ estão no plano XY, $u_3 = v_3 = 0$.
Como $\|\vec{v}\| = 0$, $\vec{v} = \vec{0}$.
Já $\vec{u}$ é unitario, então $u_1^2 + u_2^2 = 1$.

$$u_1 = \cos(\theta), \quad u_2 = \sin(\theta).$$

Obs.: Quando $\theta = 0$, $\vec{u} = \vec{i}$. Quando $\theta = \pi/2$, $\vec{u} = \vec{j}$,

3 Produto misto

$$\vec{u} \times \vec{v} \cdot \vec{w} = (\vec{u} \times \vec{v}) \cdot \vec{w} = \underbrace{\vec{u} \times (\vec{v} \cdot \vec{w})}_{ERRADO}$$

$$\begin{aligned}\vec{u} &= \vec{i} + 2\vec{j} + 3\vec{k}\\ \vec{v} &= \vec{i} - \vec{k}\\ \vec{w} &= \vec{i} + 2\vec{j} + \vec{k}\end{aligned}$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3\\ 1 & 0 & -1\\ 1 & 2 & 1\end{vmatrix} = 1 \cdot 0 \cdot 1 + 2 \cdot (-1) \cdot 1 + 3 \cdot 1 \cdot 2 - 3 \cdot 0 \cdot 1 - 2 \cdot 1 \cdot 1 - 1 \cdot (-1) \cdot 2$$

4 Ângulo entre vetores

Usaremos:

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = \|u\|\|v\| \cos(\alpha)$$

$$|\vec{u} \times \vec{v}| = \|u\|\|v\| \sin(\alpha)$$

5 Funções vetoriais

$$\vec{u}(t) = u_1(t)\vec{i} + u_2(t)\vec{j} + u_3(t)\vec{k}$$

Exemplo: vetor posição.

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

A velocidade é a derivada:

$$\vec{v}(t) = x'(t)\vec{i} + y'(t)\vec{j} + z'(t)\vec{k}$$

Teorema: Se $\|\vec{r}(t)\|$ é constante, então:

$$\vec{r}(t) \cdot \vec{r}\,'(t) = 0$$

Aplicação na cinemática: Se a velocidade de uma partícula tem módulo constante, isto é, velocidade escalar constante, então:

$$\vec{v}(t) \cdot \vec{v}\,'(t) = \vec{v}(t) \cdot \vec{a}(t) = 0$$

Generalização: Se $\vec{v}(t) = v(t)\vec{T}(t)$ onde $\vec{T}(t)$ é o vetor tangente unitário dado por:

$$\vec{T}(t) = \frac{\vec{r}\,'(t)}{\|\vec{r}\,'(t)\|}$$

Diferenciando, temos:

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \vec{v}\,'(t) = \frac{d}{dt}\left[v(t)\vec{T}(t)\right] \\ &= \underbrace{v'(t)\vec{T}(t)}_{tangencial} + \underbrace{v(t)\vec{T}'(t)}_{normal} \end{aligned}$$

Observação. Como $\|\vec{T}(t)\| = 1$, o teorema citado anteriormente garante que $\vec{T}(t) \cdot \vec{T}'(t) = 0$.

6 Curvatura

A curvatura de uma curva descrita por $\vec{r}(t)$ é dada por:

$$\kappa(t) = \left\| \frac{d}{ds}\vec{T}(s) \right\|$$

onde $s(t)$ é o comprimento da curva.

6.1 Circunferência

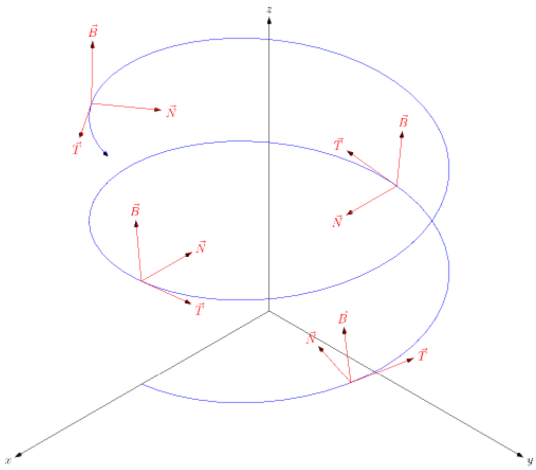
$$\begin{aligned} \vec{r}(t) &= \cos(t)\vec{i} + \sin(t)\vec{j} \\ \vec{r}\,'(t) &= -\sin(t)\vec{i} + \cos(t)\vec{j} \\ \|\vec{r}\,'(t)\| &= \sqrt{\sin^2(t) + \cos^2(t)} = 1 \end{aligned}$$

Assim:

$$\vec{T}(t) = \frac{\vec{r}\,'(t)}{\|\vec{r}\,'(t)\|} = -\sin(t)\vec{i} + \cos(t)\vec{j}.$$

$$
\begin{aligned}
\kappa(t) &= \left\| \frac{d}{ds}\vec{T}(s) \right\| \\
&= \left\| \frac{d}{dt}\vec{T}(t) \right\| / \frac{ds}{dt} \\
&= \left\| \frac{d}{dt}\vec{T}(t) \right\| / \|\vec{r}\,'(t)\| \\
&= \left\| \frac{d}{dt}\vec{T}(t) \right\| \\
&= \left\| -\cos(t)\vec{i} - \sin(t)\vec{j} \right\| = 1
\end{aligned}
$$

7 Vetores $\vec{T}$-$\vec{N}$-$\vec{B}$ (24/agosto)



7.1 Vetor tangente unitário

Se uma curva é parametrizada pela função $\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$.

Definimos o vetor tangente unitário:

$$\vec{T}(t) = \frac{\vec{r}\,'(t)}{\|\vec{r}\,'(t)\|}, \quad \vec{r}\,'(t) \neq \vec{0}.$$

7.2 Vetor normal unitário

Definimos o vetor normal unitário como:

$$\vec{N}(t) = \frac{\vec{T}\,'(t)}{\|\vec{T}\,'(t)\|}, \quad \vec{T}\,'(t) \neq \vec{0}.$$

Obs: $\vec{N}(t) \cdot \vec{T}(t) = 0$ porque $\vec{T}(t)$ tem norma constante.

7.2.1 Aplicação na cinemática

Se a velocidade de uma partícula é a função $\vec{v}(t)$, então podemos escrever:

$$\vec{v}(t) = v(t)\vec{T}(t)$$

onde $\vec{T}(t)$ é o vetor tangente unitário dado por:

$$\vec{T}(t) = \frac{\vec{r}\,'(t)}{\|\vec{r}\,'(t)\|} = \frac{\vec{v}(t)}{\|\vec{v}(t)\|}$$

Diferenciando, temos:

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \vec{v}\,'(t) = \frac{d}{dt}\left[v(t)\vec{T}(t)\right] \\ &= \underbrace{v'(t)\vec{T}(t)}_{tangencial} + \underbrace{v(t)\vec{T}'(t)}_{normal} \end{aligned}$$

Como $\vec{N}(t) = \frac{\vec{T}\,'(t)}{\|\vec{T}\,'(t)\|}$, obtemos:

$$\vec{a} = \underbrace{v'(t)\vec{T}(t)}_{tangencial} + \underbrace{v(t)\|\vec{T}\,'(t)\|\vec{N}(t)}_{normal}$$

7.3 Vetor binormal unitário

O vetor binormal unitário é definido como:

$$\vec{B}(t) = \vec{T}(t) \times \vec{N}(t)$$

Obs: $\vec{T}(t) \times \vec{N}(t) \cdot \vec{T}(t) = \vec{T}(t) \times \vec{N}(t) \cdot \vec{N}(t) = 0$ e

$$\|\vec{T}(t) \times \vec{N}(t)\| = \|\vec{T}(t)\|\|\vec{N}(t)\|\sin(\alpha) = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

7.4 Hélice

Seja hélice circular uniforme dada por:

$$\vec{r}(t) = \cos(t)\vec{i} + \sin(t)\vec{j} + t\vec{k}$$

isto é:

$$\begin{aligned} x(t) &= \cos(t) \\ y(t) &= \sin(t) \\ z(t) &= t \end{aligned}$$

$$\vec{r}\,'(t) = -\sin(t)\vec{i} + \cos(t)\vec{j} + \vec{k}$$

A norma é dada por:

$$\|\vec{r}\,'(t)\| = \sqrt{\sin^2(t) + \cos^2(t) + 1} = \sqrt{2}$$

Assim:

$$\vec{T}(t) = \frac{-\sin(t)\vec{i} + \cos(t)\vec{j} + \vec{k}}{\sqrt{2}}$$

Para calcular $\vec{N}$, derivamos $\vec{T}$:

$$\vec{T}\,'(t) = \frac{-\cos(t)\vec{i} - \sin(t)\vec{j}}{\sqrt{2}}$$

e

$$\|\vec{T}\,'(t)\| = \frac{\sqrt{\cos^2(t) + \sin^2(t)}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

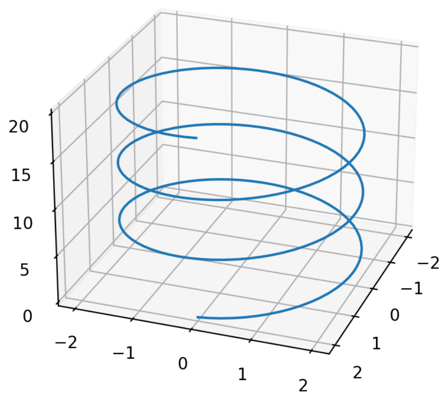
assim:

$$\vec{N}(t) = \frac{\vec{T}\,'(t)}{\|\vec{T}\,'(t)\|} = -\cos(t)\vec{i} - \sin(t)\vec{j}$$

Finalmente o vetor binormal unitário é dado por:

$$\vec{B}(t) = \vec{T}(t) \times \vec{N}(t)$$

$$\begin{aligned}
\vec{B}(t) &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ -\sin(t) & \cos(t) & 1 \\ -\cos(t) & -\sin(t) & 0 \end{vmatrix} \\
&= \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\vec{i}\,(0 + \sin(t)) + \vec{j}\,(-\cos(t) + 0) + \vec{k}\left(\sin^2(t) + \cos^2(t)\right) \right] \\
&= \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\sin(t)\vec{i} - \cos(t)\vec{j} + \vec{k} \right]
\end{aligned}$$



8 Parabóla

Considere a parábola dada por:

$$y = ax^2, \quad z = 0$$

com $a > 0$.

Primeiro, parametrizamos a curva:

$$x(t) = t, \quad y(t) = at^2, \quad z(t) = 0.$$

assim:

$$\begin{aligned}\vec{r}(t) &= t\vec{i} + at^2\vec{j} \\ \vec{r}\,'(t) &= \vec{i} + 2at\vec{j}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\vec{T}(t) &= \frac{\vec{i} + 2at\vec{j}}{\sqrt{1+4a^2t^2}} \\ &= \left(1+4a^2t^2\right)^{-1/2}\vec{i} + 2at\left(1+4a^2t^2\right)^{-1/2}\vec{j}\end{aligned}$$

Obs:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\left(1+4a^2t^2\right)^{-1/2} &= (-1/2)\left(1+4a^2t^2\right)^{-1/2-1}\left(8a^2t\right) \\ &= -4a^2t\left(1+4a^2t^2\right)^{-3/2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\left[2at\left(1+4a^2t^2\right)^{-1/2}\right] &= 2a\left(1+4a^2t^2\right)^{-1/2} + 2at\left[-4a^2t\left(1+4a^2t^2\right)^{-3/2}\right] \\ &= 2a\left(1+4a^2t^2\right)^{-1/2} - 8a^3t^2\left(1+4a^2t^2\right)^{-3/2} \\ &= \frac{2a(1+4a^2t^2) - 8a^3t^2}{(1+4a^2t^2)^{3/2}} \\ &= \frac{2a}{(1+4a^2t^2)^{3/2}}\end{aligned}$$

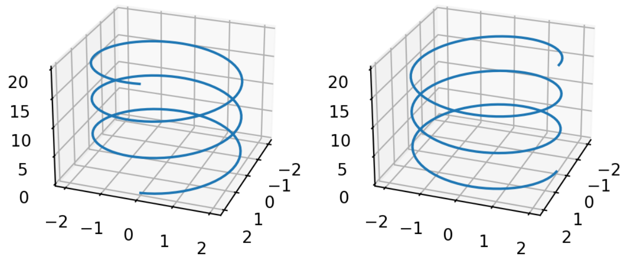
Portanto:

$$\vec{T}'(t) = \frac{1}{(1+4a^2t^2)^{3/2}}\left[-4a^2t\vec{i} + 2a\vec{j}\right]$$

$$\begin{aligned}\|\vec{T}'(t)\| &= \frac{1}{(1+4a^2t^2)^{3/2}}\left\|-4a^2t\vec{i} + 2a\vec{j}\right\| \\ &= \frac{1}{(1+4a^2t^2)^{3/2}}\sqrt{16a^4t^2 + 4a^2} \\ &= \frac{2a}{(1+4a^2t^2)^{3/2}}\sqrt{4a^2t^2 + 1} \\ &= \frac{2a}{(1+4a^2t^2)}\end{aligned}$$

O vetor normal é dado, portanto, por:

$$\begin{aligned}\vec{N}(t) &= \frac{\vec{T}'(t)}{\|\vec{T}'(t)\|} \\ &= \frac{1}{2a\sqrt{1+4a^2t^2}}\left[-4a^2t\vec{i} + 2a\vec{j}\right]\end{aligned}$$



9 Orientação

Circunferência no plano orientada no sentido anti-horário:

$$\begin{aligned}x(t) &= \cos(t) \\ y(t) &= \sin(t)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x(0) &= 1 \\ y(0) &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x(\pi/2) &= 0 \\ y(\pi/2) &= 1\end{aligned}$$

Circunferência no plano orientada no sentido horário:

$$\begin{aligned}x(t) &= \sin(t) \\ y(t) &= \cos(t)\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
x(0) &= 0 \\
y(0) &= 1
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
x(\pi/2) &= 1 \\
y(\pi/2) &= 0
\end{aligned}
$$

10 Torçao - 41min

$$
\begin{aligned}
x(t) &= \cos(t) \\
y(t) &= \sin(t) \\
z(t) &= \sin(2t)
\end{aligned}
$$

$$
\vec{r}(t) = \cos(t)\vec{i} + \sin(t)\vec{j} + \sin(2t)\vec{k}
$$

$$
\tau = \frac{\vec{r}' \times \vec{r}'' \cdot \vec{r}'''}{\|\vec{r}' \times \vec{r}''\|^2}
$$

$$
\begin{aligned}
\vec{r}'(t) &= -\sin(t)\vec{i} + \cos(t)\vec{j} + 2\cos(2t)\vec{k} \\
\vec{r}''(t) &= -\cos(t)\vec{i} - \sin(t)\vec{j} - 4\sin(2t)\vec{k} \\
\vec{r}'''(t) &= \sin(t)\vec{i} - \cos(t)\vec{j} - 8\cos(2t)\vec{k}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\vec{r}'(\pi/2) &= -\vec{i} - 2\vec{k} \\
\vec{r}''(\pi/2) &= -\vec{j} \\
\vec{r}'''(\pi/2) &= \vec{i} + 8\vec{k}
\end{aligned}
$$

$$
\vec{r}'(\pi/2) \times \vec{r}''(\pi/2) = \left(-\vec{i} - 2\vec{k}\right) \times (-\vec{j}) = \vec{k} - 2\vec{i} = -2\vec{i} + \vec{k}
$$

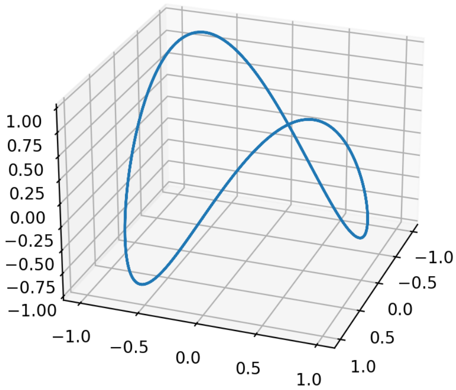
Dica: ijkij

$$
\vec{r}' \times \vec{r}'' \cdot \vec{r}''' = \left(-2\vec{i} + \vec{k}\right) \cdot \left(\vec{i} + 8\vec{k}\right) = -2 + 8 = 6
$$

$$
\|\vec{r}' \times \vec{r}''\| = \| - 2\vec{i} + \vec{k}\| = \sqrt{2^2 + 1^2} = \sqrt{5}
$$

Finalmente

$$
\tau = \frac{6}{5}
$$



11

$$\begin{aligned} x(t) &= \int_0^t \cos(\tau^2) d\tau \\ y(t) &= \int_0^t \sin(\tau^2) d\tau \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'(t) &= \cos(t^2) \\ y'(t) &= \sin(t^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x''(t) &= -2t \sin(t^2) \\ y''(t) &= 2t \cos(t^2) \end{aligned}$$

Teorema fundamental do cálculo:

$$\frac{d}{dx} \int_a^x f(y) dy = f(x)$$

12

$$\begin{aligned} x(t) &= \sin(t) \\ y(t) &= \cos(t) \\ z(t) &= \cos(2t) \end{aligned}$$

Cacule t para $(1, 0, -1)$

$$\begin{aligned}\sin(t) = 1 &\Longrightarrow t = \pi/2 + 2k\pi \\ \cos(t) = 0 &\Longrightarrow t = \pi/2 + k\pi \\ \cos(2t) = -1 &\Longrightarrow 2t = \pi + 2k\pi\end{aligned}$$

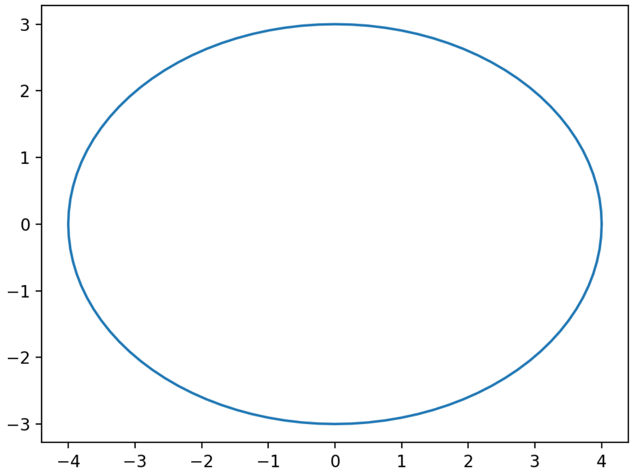
13 Comprimento de arco. 122min

$$\begin{aligned}\vec{r}(t) &= 2\cos(\pi t)\vec{i} + 2\sin(\pi t)\vec{i} - t\vec{k} \\ \vec{r}\,'(t) &= -2\pi\sin(\pi t)\vec{i} + 2\pi\cos(\pi t)\vec{i} - \vec{k} \\ \|\vec{r}\,'(t)\| &= \sqrt{(2\pi)^2 + 1} = \sqrt{4\pi^2 + 1}\end{aligned}$$

$$L = \int_0^1 ds = \int_0^1 \|\vec{r}\,'(t)\| dt = \sqrt{4\pi^2 + 1}$$

14 Curvatura da elipse

.



$$\vec{r}(t) = a\cos(t)\vec{i} + b\sin(t)\vec{j}$$

onde a e b são constantes positivas.

$$\begin{aligned}\vec{r}(t) &= a\cos(t)\vec{i} + b\sin(t)\vec{j} \\ \vec{r}\,'(t) &= -a\sin(t)\vec{i} + b\cos(t)\vec{j} \\ \vec{r}\,''(t) &= -a\cos(t)\vec{i} - b\sin(t)\vec{j}\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
\vec{r}\,'(t) \times \vec{r}\,''(t) &= \left(-a\sin(t)\vec{i} + b\cos(t)\vec{j}\right) \times \left(-a\cos(t)\vec{i} - b\sin(t)\vec{j}\right) \\
&= ab\sin^2(t)\vec{k} + ab\cos^2(t)\vec{k} = ab\vec{k}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\|\vec{r}\,'(t)\| &= \| -a\sin(t)\vec{i} + b\cos^2(t)\vec{j}\| \\
&= \sqrt{a^2\sin^2(t) + b^2\cos(t)}
\end{aligned}
$$

E obtemos:

$$
\begin{aligned}
\kappa(t) &= \frac{\|\vec{r}\,'(t) \times \vec{r}\,''(t)\|}{\|\vec{r}\,'(t)\|^3} \\
&= \frac{|ab|}{\left[a^2\sin^2(t) + b^2\cos^2(t)\right]^{3/2}} \\
&= \frac{ab}{\left[a^2\sin^2(t) + b^2\cos^2(t)\right]^{3/2}}
\end{aligned}
$$

Nos vértices $t = 0$ e $t = \pi$:

$$\kappa(0) = \kappa(\pi) = \frac{ab}{(b^2)^{3/2}} = \frac{a}{b^2}$$

Nos vértices $t = \pi/2$ e $t = 3\pi/2$:

$$\kappa(\pi/2) = \kappa(3\pi/2) = \frac{ab}{(a^2)^{3/2}} = \frac{b}{a^2}$$

15 Aceleração normal e curvatura

Se um pessoa percorre uma trajetória elíptica com semi-eixos $a = 100$ e $b = 200$ com velocidade escalar constante de 2 m/s. Qual é a aceleração normal máxima.

$$a_N = \kappa v^2 = \kappa_{max} 2^2 = 4\frac{200}{100^2} = \frac{8}{100} = 0,08$$

16 Campos 53

- Campos vetoriais e escalares
- Campo (vetorial) conservativo. $\vec{F} = \vec{\nabla}\varphi$, φ é o potencial. $\vec{\nabla} \times \vec{F} = \vec{0}$.
- O campo elétrico é conservativo quando o campo magnético é constante no tempo.

17 Gradiente (pág 5/5)

O gradiente de um campo escalar é um campo vetorial. Em cada ponto, é o vetor que aponta na direção e sentido de maior variação e cujo módulo é a máxima derivada direcional:

$$\frac{\partial f}{\partial \vec{u}} = \vec{u} \cdot \vec{\nabla} f, \quad \|\vec{u}\| = 1$$

Obs: Direção de máxima derivada direcional é dada pelo vetor unitário (versor):

$$\vec{u} = \hat{u} = \frac{\vec{\nabla} f}{\|\vec{\nabla} f\|}$$

Direção de mínima derivada direcional (maior valor absoluto e sinal negativo) é dada pelo vetor unitário (versor):

$$\vec{u} = \hat{u} = -\frac{\vec{\nabla} f}{\|\vec{\nabla} f\|}$$

Se $\vec{u} \cdot \vec{\nabla} f = 0$

18 Divergente

O divergente de um campo vetorial é o campo escalar dado por:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial F_2}{\partial y} + \frac{\partial F_3}{\partial z}$$

Ex.

$$\vec{F} = xy\vec{i} + y^3\vec{j} + xyz^2\vec{k}$$

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \cdot \vec{F} &= \frac{\partial}{\partial x}(xy) + \frac{\partial}{\partial y}(y^3) + \frac{\partial}{\partial z}(xyz^2) \\ &= y + 3y^2 + 2xyz \end{aligned}$$

19

$$\vec{r}(t) = \int_0^t \cos(\tau^2) d\tau \vec{i} + \int_0^t \sin(\tau^2) d\tau \vec{j}$$

$$\vec{r}\,'(t) = \cos(t^2)\vec{i} + \sin(t^2)\vec{j}$$

Teorema fundamental do cálculo:

$$\frac{d}{dt} \int_a^t f(x) dx = f(t)$$

$$\int \cos(t^2) dt \neq \sin(t^2) + C$$

20 Questão sobre gradientes (10min)

$$\vec{F} = x\vec{i} + xe^y\vec{j} + xyz\vec{k}$$

$$\vec{F} \cdot \vec{F} = x^2 + x^2e^{2y} + x^2y^2z^2$$

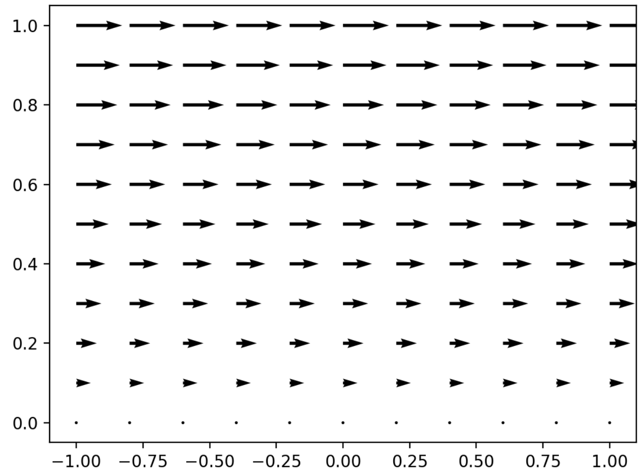
$$\vec{\nabla}\left(\vec{F} \cdot \vec{F}\right) = \left(2x + 2xe^{2y} + 2xy^2z^2\right)\vec{i} + \left(2x^2e^{2y} + 2x^2yz^2\right)\vec{j} + 2x^2y^2z\vec{k}$$

$$\left(e^y\right)^2 = e^{y^2}$$

21 Campos vetoriais - 31/08

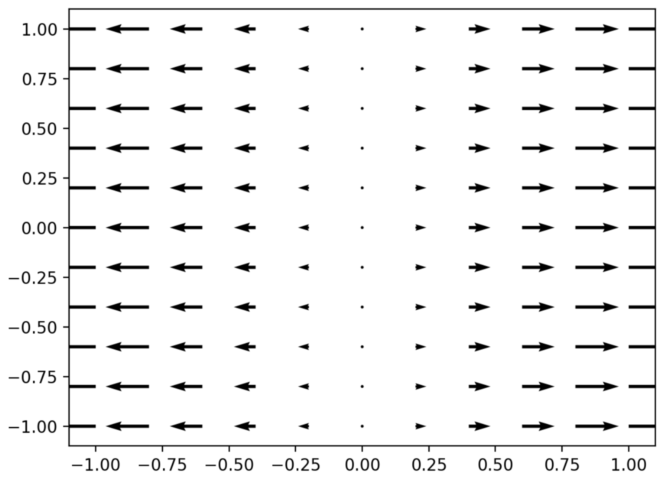
Exemplo 1, página 4/2.

$$\vec{F} = \sqrt{y}\,\vec{i}$$



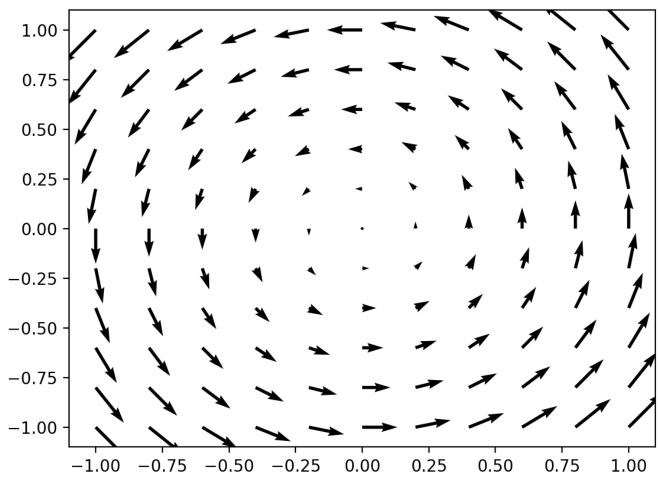
Exemplo 2.

$$\vec{F} = x\,\vec{i}$$



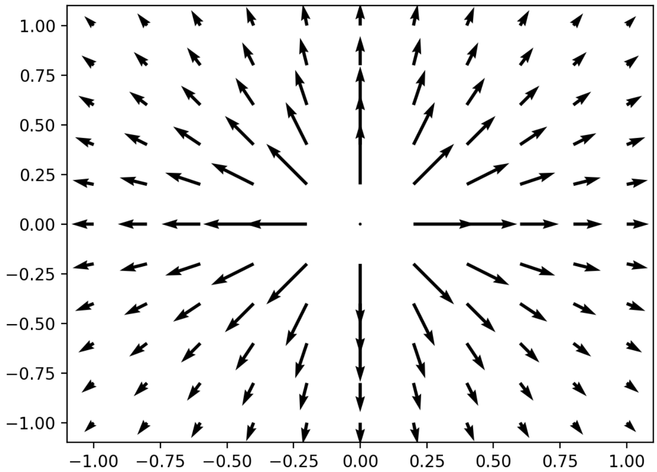
Exemplo 3.s

$$\vec{F} = -y\,\vec{i} + x\,\vec{j}$$



Exemplo inverso do quadrado.

$$\vec{F} = \frac{\hat{r}}{r^2} = \frac{\vec{r}}{r^3} = \frac{x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}}{r^3}$$



22 O operador del - 35min

$$\vec{\nabla} = \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}$$

Gradiente:

$$\vec{\nabla} f = \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} f + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} f + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z} f = \vec{i}\frac{\partial f}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial f}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial f}{\partial z}$$

Divergente:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \left(\vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}\right) \cdot \left(F_1\vec{i} + F_2\vec{j} + F_3\vec{k}\right) = \frac{\partial}{\partial x}F_1 + \frac{\partial}{\partial y}F_2 + \frac{\partial}{\partial z}F_3$$

Rotacional:

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{F} &= \left(\vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}\right) \times \left(F_1\vec{i} + F_2\vec{j} + F_3\vec{k}\right) \\ &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_1 & F_2 & F_3 \end{vmatrix} \\ &= \vec{i}\left(\frac{\partial F_3}{\partial y} - \frac{\partial F_2}{\partial z}\right) + \vec{j}\left(\frac{\partial F_1}{\partial z} - \frac{\partial F_3}{\partial x}\right) + \vec{k}\left(\frac{\partial F_2}{\partial x} - \frac{\partial F_1}{\partial y}\right) \end{aligned}$$

Laplaciano:

$$
\begin{aligned}
\nabla^2 f &= \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} f \\
&= \vec{\nabla} \cdot \left(\vec{i} \frac{\partial}{\partial x} f + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} f + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z} f \right) \\
&= \frac{\partial^2 f}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 f}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 f}{\partial^2 z}
\end{aligned}
$$

23 Exemplo 4. 55min

$$
f(x, y) = x + y
$$
$$
\vec{\nabla} f = \vec{i} + \vec{j}
$$

24 Exemplo 5. 55min

$$
\vec{F} = x^2 y \vec{i} + 2y^3 z \vec{j} + 3z \vec{k}
$$

$$
\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = 2xy + 6y^2 z + 3
$$

$$
\begin{aligned}
\vec{\nabla} \times \vec{F} &= \left(\vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z} \right) \times \left(F_1 \vec{i} + F_2 \vec{j} + F_3 \vec{k} \right) \\
&= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ x^2 y & 2y^3 z & 3z \end{vmatrix} \\
&= \left(0 - 2y^3\right) \vec{i} + (0 - 0) \vec{j} + \left(0 - x^2\right) \vec{k}
\end{aligned}
$$

25 Exemplo 6 - 72min

$$
f = xyz
$$
$$
\vec{F} = -y\vec{i} + x\vec{j} + z\vec{k}
$$

$$
(\vec{F} \cdot \vec{\nabla}) f \quad = \quad ?
$$

$$
\begin{aligned}
(\vec{F} \cdot \vec{\nabla}) &= \left(-y\vec{i} + x\vec{j} + z\vec{k} \right) \cdot \left(\vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z} \right) \\
&= -y \frac{\partial}{\partial x} + x \frac{\partial}{\partial y} + z \frac{\partial}{\partial z}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
(\vec{F} \cdot \vec{\nabla}) f &= \left(-y \frac{\partial}{\partial x} + x \frac{\partial}{\partial y} + z \frac{\partial}{\partial z} \right) (xyz) \\
&= -y(yz) + x(xz) + z(xy) = -y^2 z + x^2 z + xyz
\end{aligned}
$$

26 Exemplo 10 - pág 5/6 - 83min

$$T = \frac{xy}{1+x^2+y^2} = xy(1+x^2+y^2)^{-1}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial T}{\partial x} &= y(1+x^2+y^2)^{-1} - xy(2x)(1+x^2+y^2)^{-2} \\
&= \frac{y(1+x^2+y^2) - 2x^2y}{(1+x^2+y^2)^2} \\
&= \frac{y - x^2y + y^3}{(1+x^2+y^2)^2}
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{x - y^2x + x^3}{(1+x^2+y^2)^2}$$

No ponto $(1,1)$:

$$\vec{\nabla}T(1,1) = \frac{1}{9}\vec{i} + \frac{1}{9}\vec{j}$$

Direção do vetor $\vec{a} = 2\vec{i} - \vec{j}$.

$$\frac{\partial T}{\partial \vec{u}} = \vec{u} \cdot \nabla f, \quad \vec{u} = \frac{\vec{a}}{\|\vec{a}\|}$$

$$\frac{\partial T}{\partial \vec{u}} = \frac{2\vec{i} - \vec{j}}{\sqrt{5}} \cdot \left(\frac{1}{9}\vec{i} + \frac{1}{9}\vec{j}\right) = \frac{1}{9\sqrt{5}}(2-1) = \frac{\sqrt{5}}{45}$$

item b:

$$\vec{u} = -\frac{\vec{\nabla}T}{\|\vec{\nabla}T\|} = \frac{-2\vec{i} + \vec{j}}{\sqrt{5}}$$