fatiando a terra
modeling and inversion for geophysics | fatiando.org

PINGA
Grupo de problemas inversos em geofísica

Camada equivalente aplicada ao processamento e interpretação de dados de campos potenciais

Vanderlei C. Oliveira Jr.

2016

Observatório Nacional

SBGf

fatiando a terra
modeling and inversion for geophysics | fatiando.org

PINGA
Grupo de problemas inversos em geofísica

Anomalia de Campo Total (parte A)

Vanderlei C. Oliveira Jr.

2016

Observatório Nacional

SBGf

A técnica da camada equivalente pode ser aplicada pra processar e interpretar anomalias de campo total

A técnica da camada equivalente pode ser aplicada pra processar e interpretar anomalias de campo total

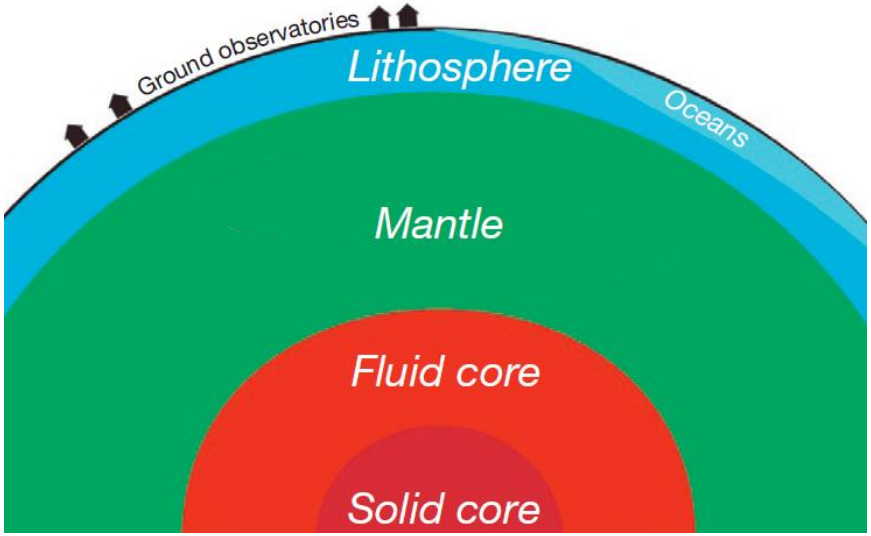
Nesse sentido, é preciso definir o que é uma anomalia de campo total

Para tanto, é importante definirmos alguns elementos da estrutura interna da Terra e também do campo magnético terrestre ou **campo geomagnético**

Para tanto, é importante definirmos alguns elementos da estrutura interna da Terra e também do campo magnético terrestre ou **campo geomagnético**

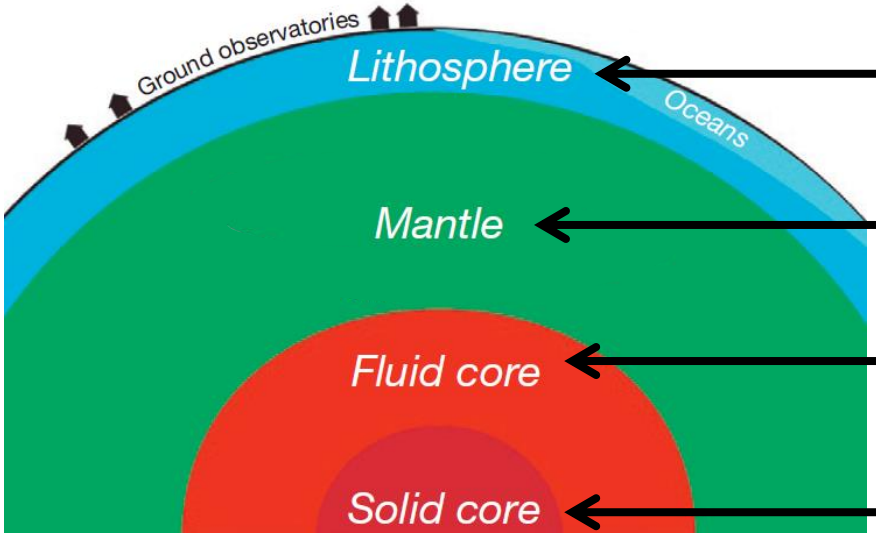
Além disso, também é importante ressaltar que o campo geomagnético é produzido por apenas dois tipos de **fontes**: **rochas magnetizadas** e **correntes elétricas**

Representação simplificada da estrutura interna da Terra



Modificado de Hulot et al. (2015)

Representação simplificada da estrutura interna da Terra



Litosfera

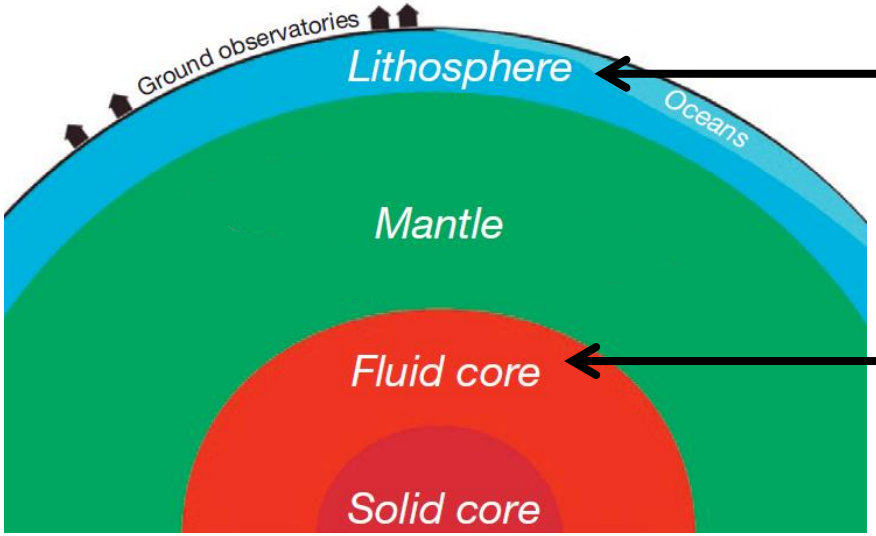
Manto

Núcleo externo

Núcleo interno

Modificado de Hulot et al. (2015)

Importantes fontes do campo geomagnético estão na litosfera e no núcleo externo

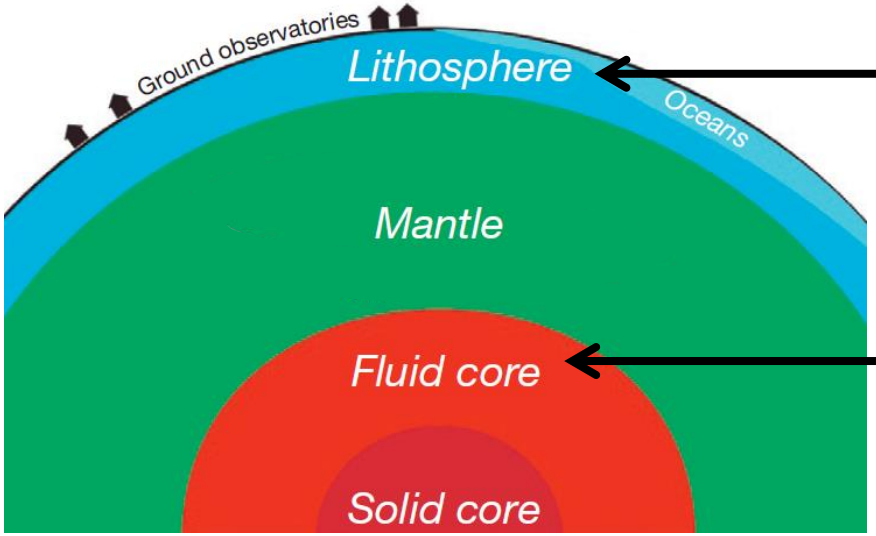


Litosfera

Núcleo externo

Modificado de Hulot et al. (2015)

De acordo com a teoria mais aceita pela comunidade geofísica, a principal fonte do campo geomagnético (responsável por mais de 95% do campo) são as **correntes elétricas** provenientes do movimento do núcleo externo, que é líquido e contém ferro e níquel.



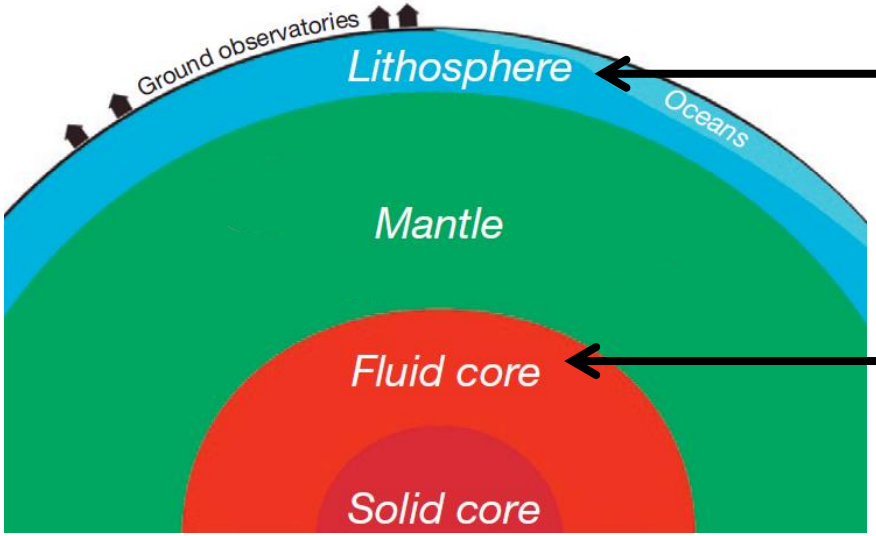
Litosfera

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Modificado de Hulot et al. (2015)

O campo produzido por estas fontes é denominado **campo principal** (Langel e Hinze, 1998; Hulot et al., 2015).



Litosfera

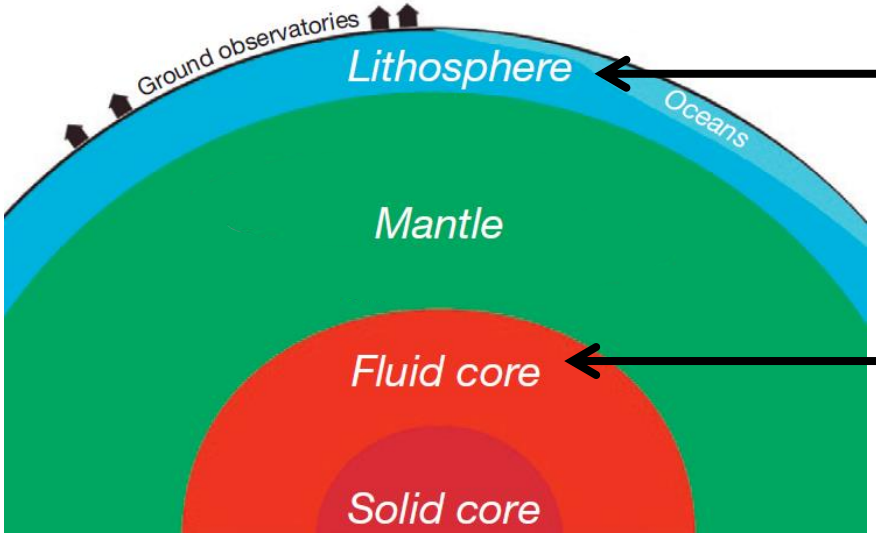
Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Modificado de Hulot et al. (2015)

Este campo é predominantemente dipolar (já já veremos o que isso quer dizer), suas variações temporais são da ordem de anos e sua amplitude varia de ≈22 600 nT, sobre a anomalia magnética do Atlântico Sul, até ≈66 670 nT, próximo ao pólo sul (Hulot et al., 2015).



Litosfera

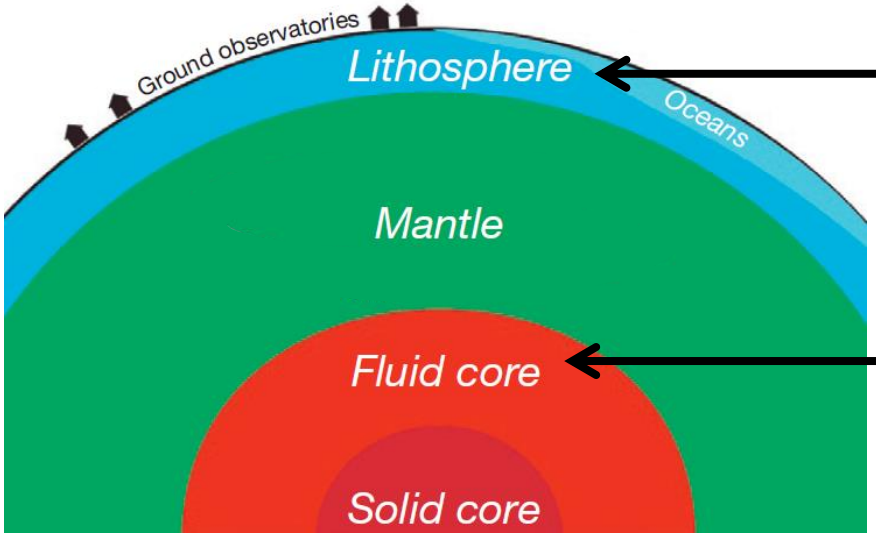
Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Modificado de Hulot et al. (2015)

As fontes presentes na litosfera são **rochas magnetizadas**. Estas rochas se mantém magnetizadas porque estão abaixo de suas respectivas temperaturas de Curie.



Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

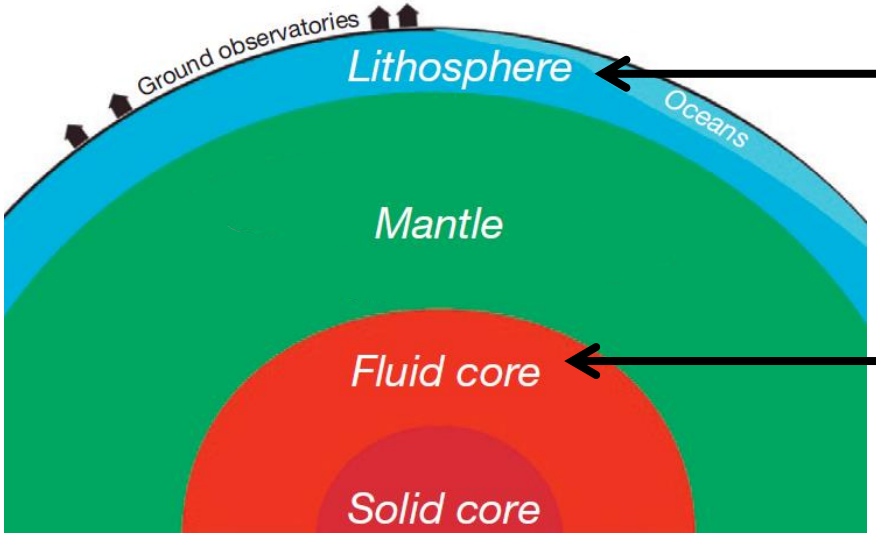
Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Modificado de Hulot et al. (2015)

O campo produzido por estas fontes é denominado **campo crustal** (Langel e Hinze, 1998; Hulot et al., 2015) e representa a principal componente do campo geomagnético para estudos de geofísica aplicada (Blakely, 1996; Nabighian et al., 2005).



Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

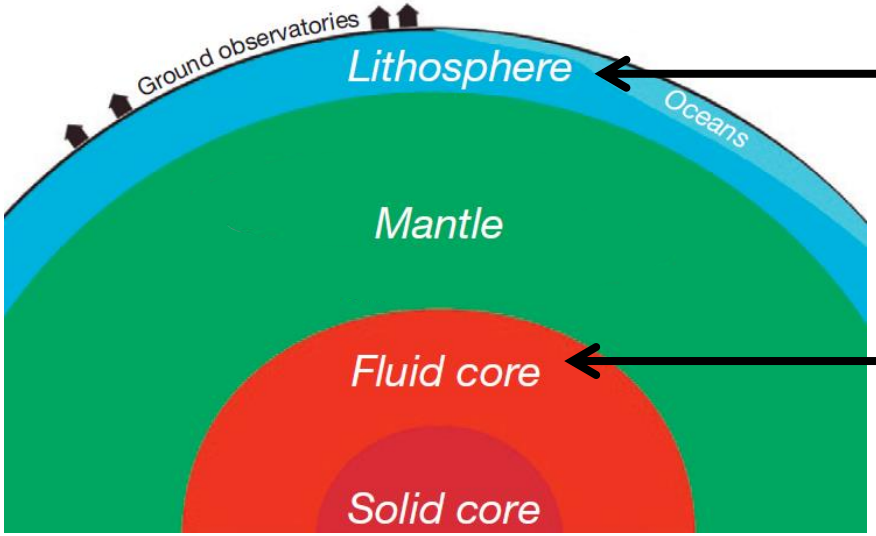
Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Modificado de Hulot et al. (2015)

Em geomagnetismo, a soma dos campos crustal e principal é denominada **campo interno** (Langel e Hinze, 1998; Hulot et al., 2015). Já em geofísica aplicada, é denominada **campo total** (Blakely, 1996; Nabighian et al., 2005).



Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

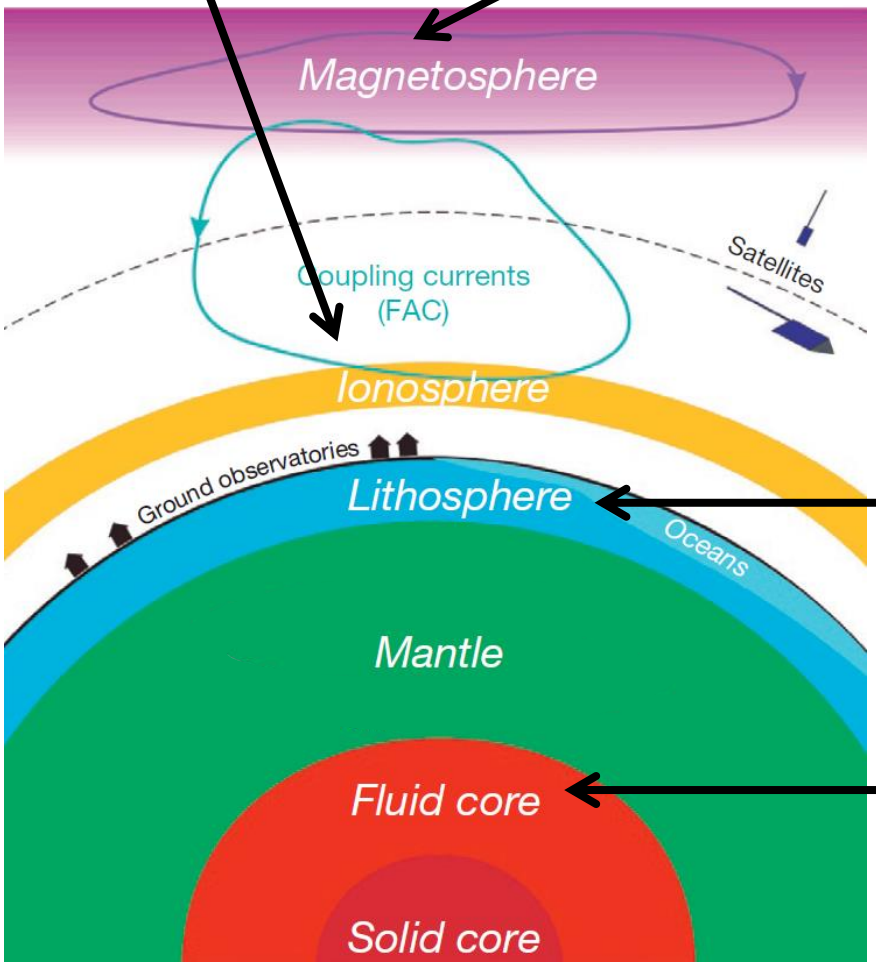
Modificado de Hulot et al. (2015)

Fonte: correntes elétricas

Ionosfera

Fonte: correntes elétricas

Magnetosfera



Modificado de Hulot et al. (2015)

Outras fontes do campo geomagnético são correntes elétricas provenientes do movimento de partículas carregadas na magnetosfera e ionosfera.

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

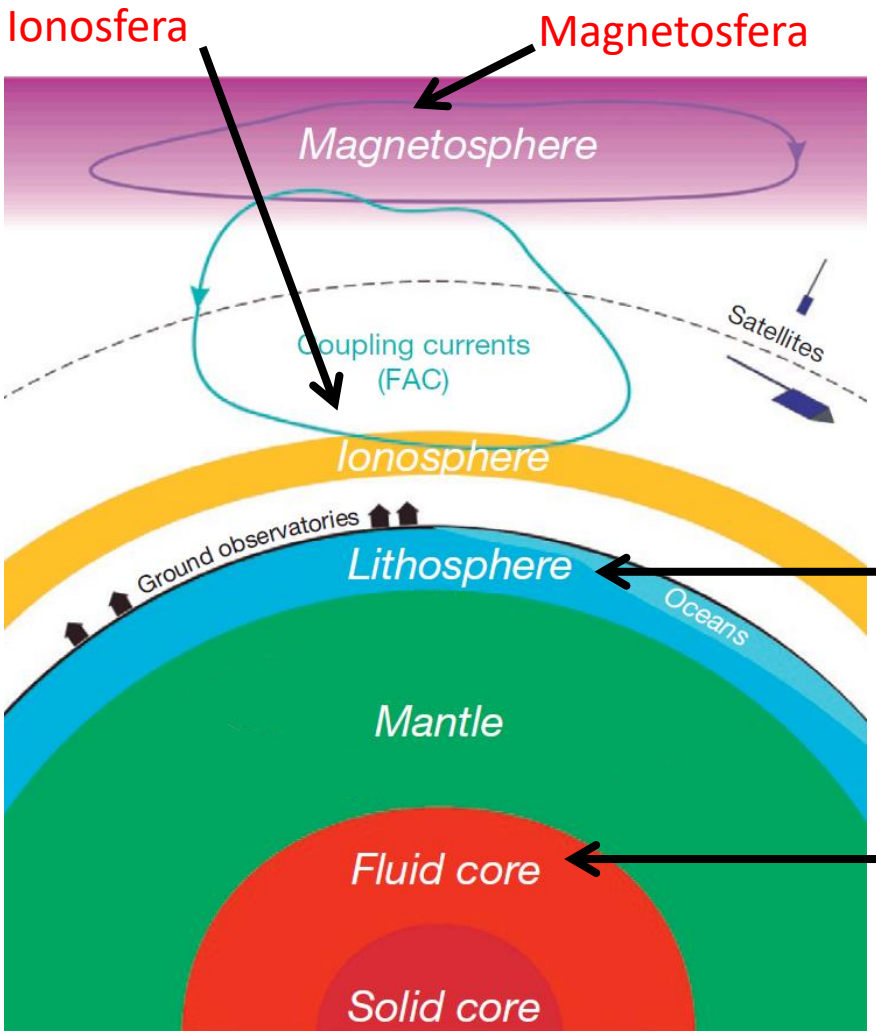
Campo ionosférico

Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas

Os campos produzidos por estas fontes são denominados, respectivamente, **campo magnetosférico** e **campo ionosférico** (Langel e Hinze, 1998; Hulot et al., 2015).



Modificado de Hulot et al. (2015)

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

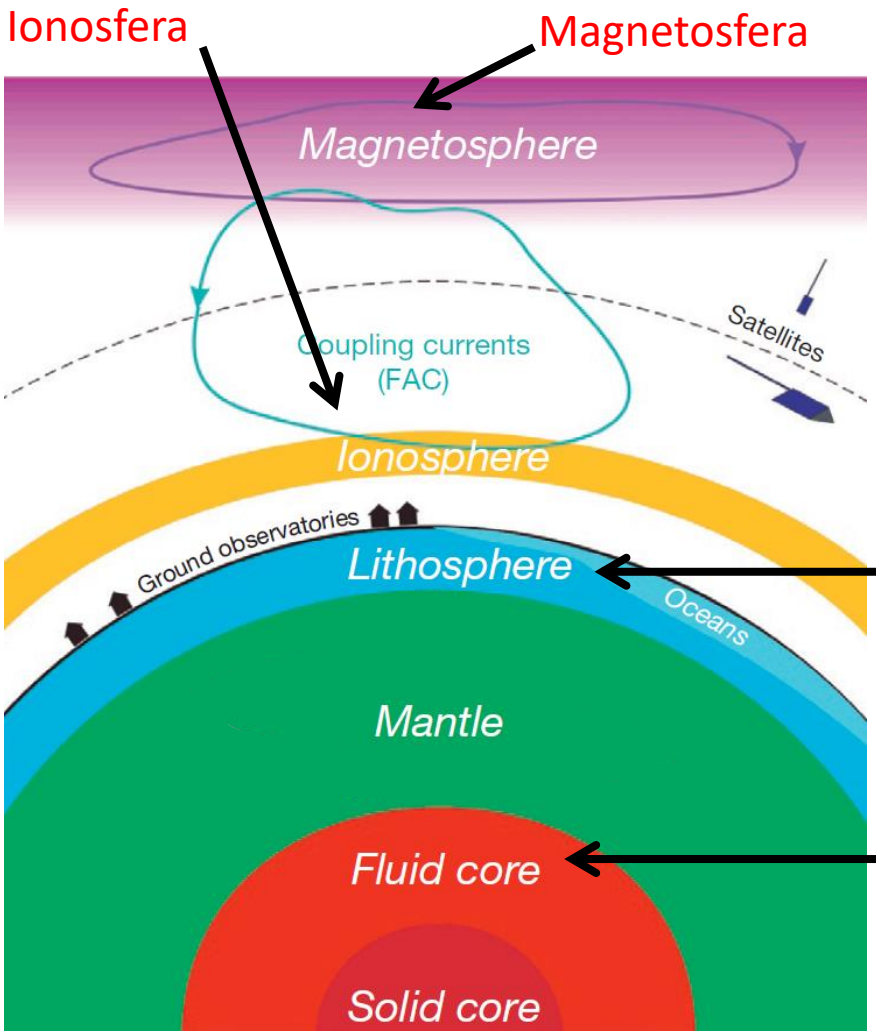
Campo total (ou campo interno)

Campo ionosférico

Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas



Modificado de Hulot et al. (2015)

Embora os processos físicos que controlam os sistemas de correntes elétricas nestas duas regiões sejam distintos, eles estão acoplados.

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

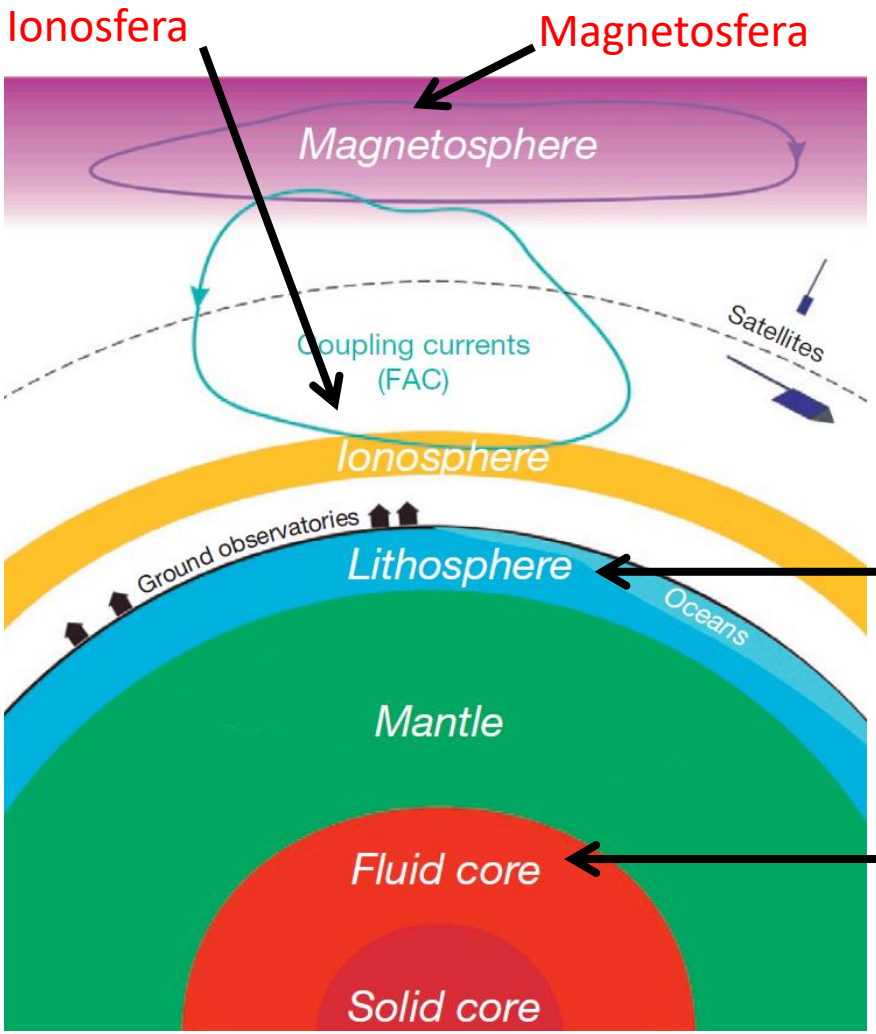
Campo total (ou campo interno)

Campo ionosférico

Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas



Modificado de Hulot et al. (2015)

As variações temporais destes campos vão de frações de segundo até dias e as variações da amplitude vão de dezenas até milhares de nanotesla.

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

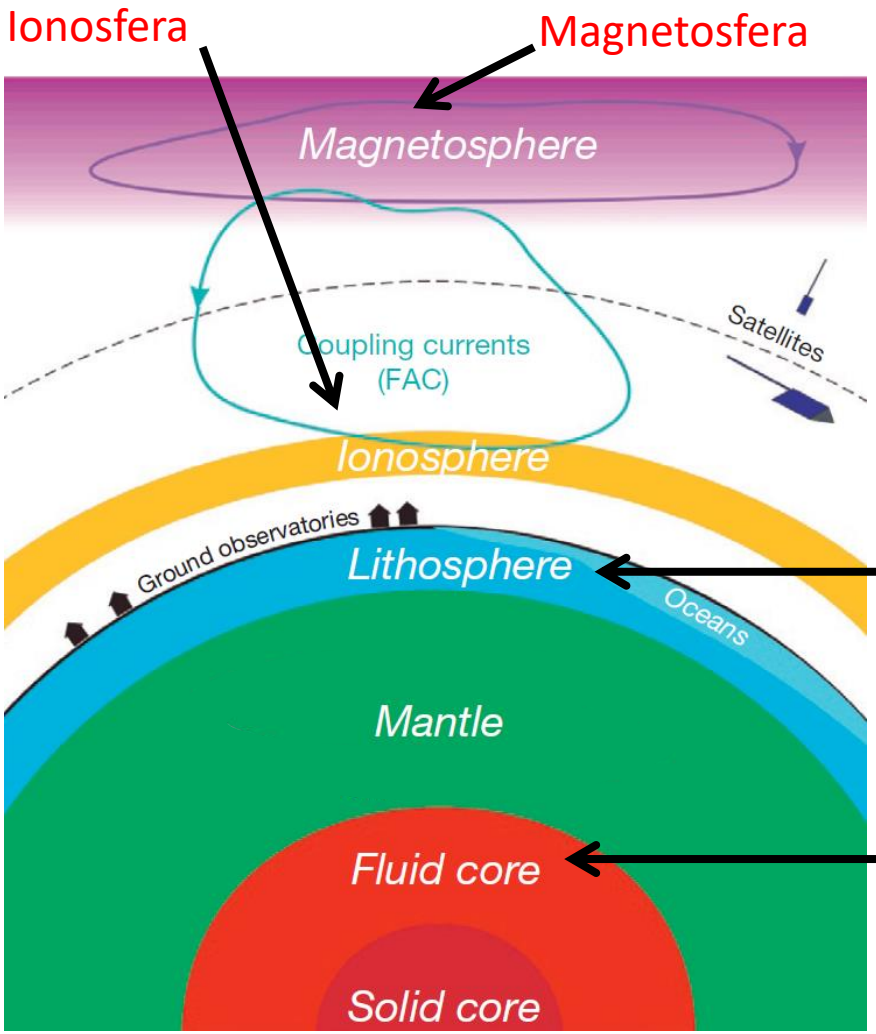
Campo total (ou campo interno)

Campo ionosférico

Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas



Campo externo

O campo resultante produzido por estas fontes é denominado **campo externo** (Langel e Hinze, 1998; Hulot et al., 2015).

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

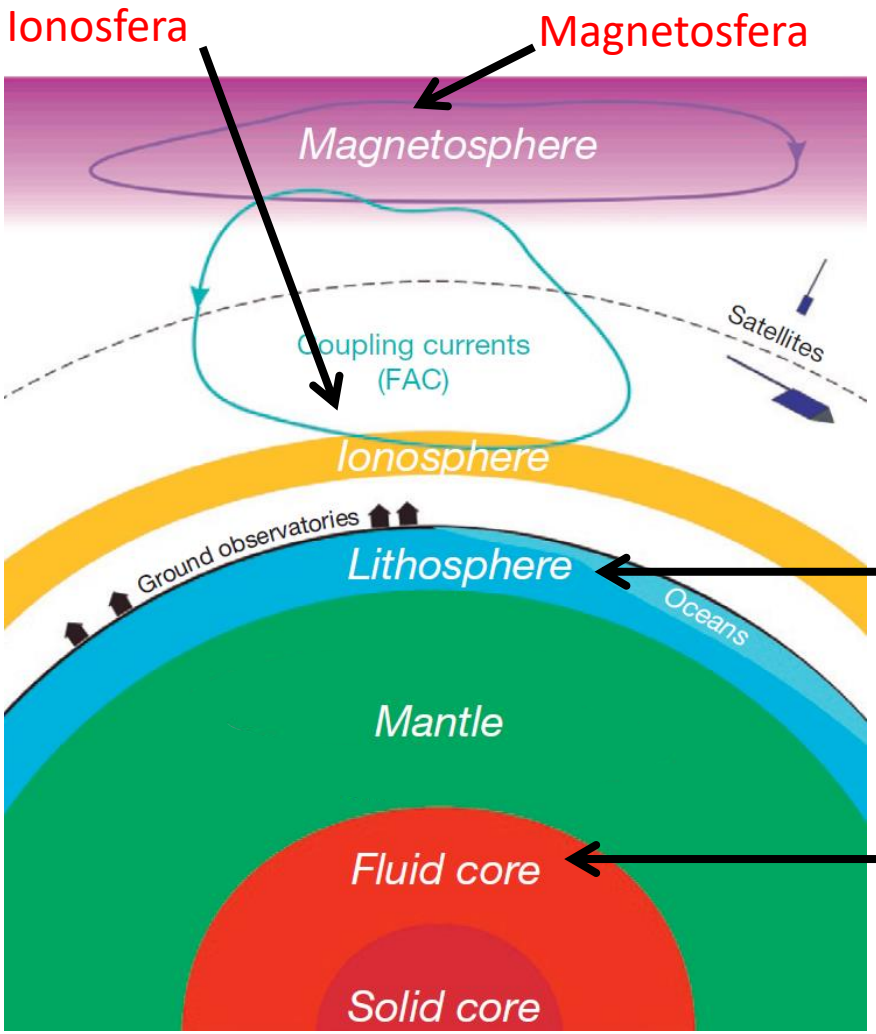
Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo ionosférico

Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas



Campo externo

À grosso modo, dias em que o campo externo atinge amplitudes baixas (dezenas de nanotesla) são considerados **dias magneticamente calmos**.

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

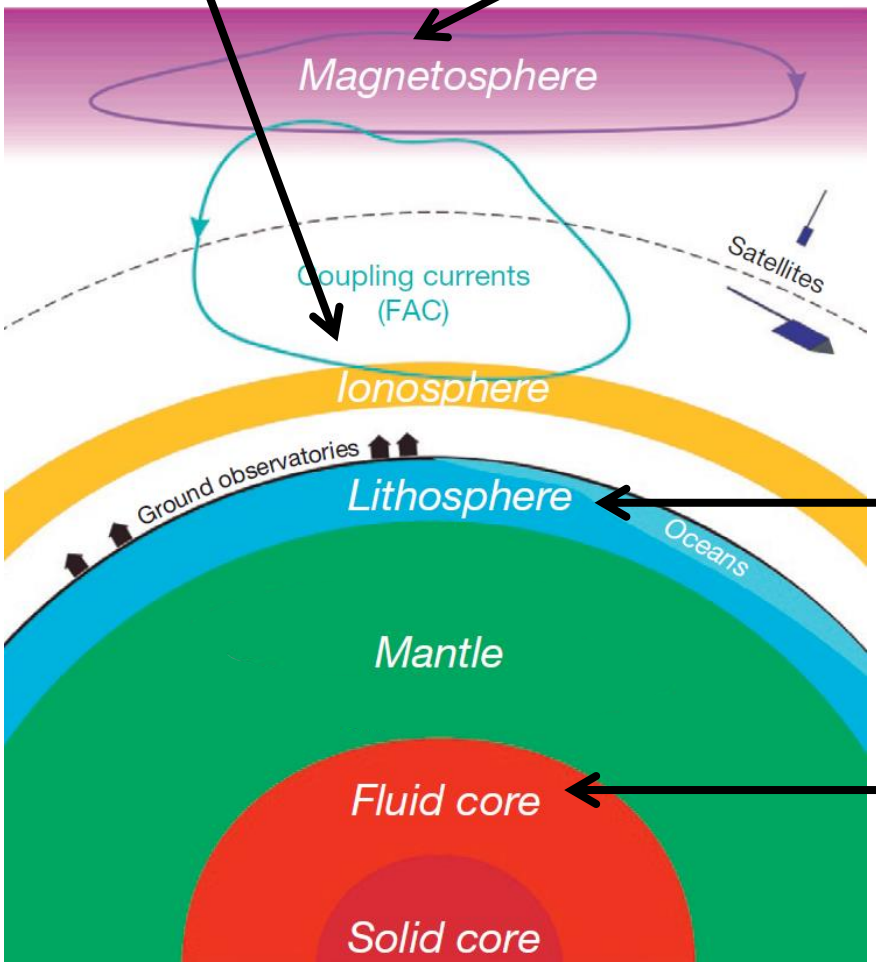
Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo ionosférico
Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico
Fonte: correntes elétricas

Ionosfera

Magnetosfera



Campo externo

Por outro lado, dias em que o campo externo atinge amplitudes altas (milhares de nanotesla) são considerados **dias magneticamente perturbados**.

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo ionosférico

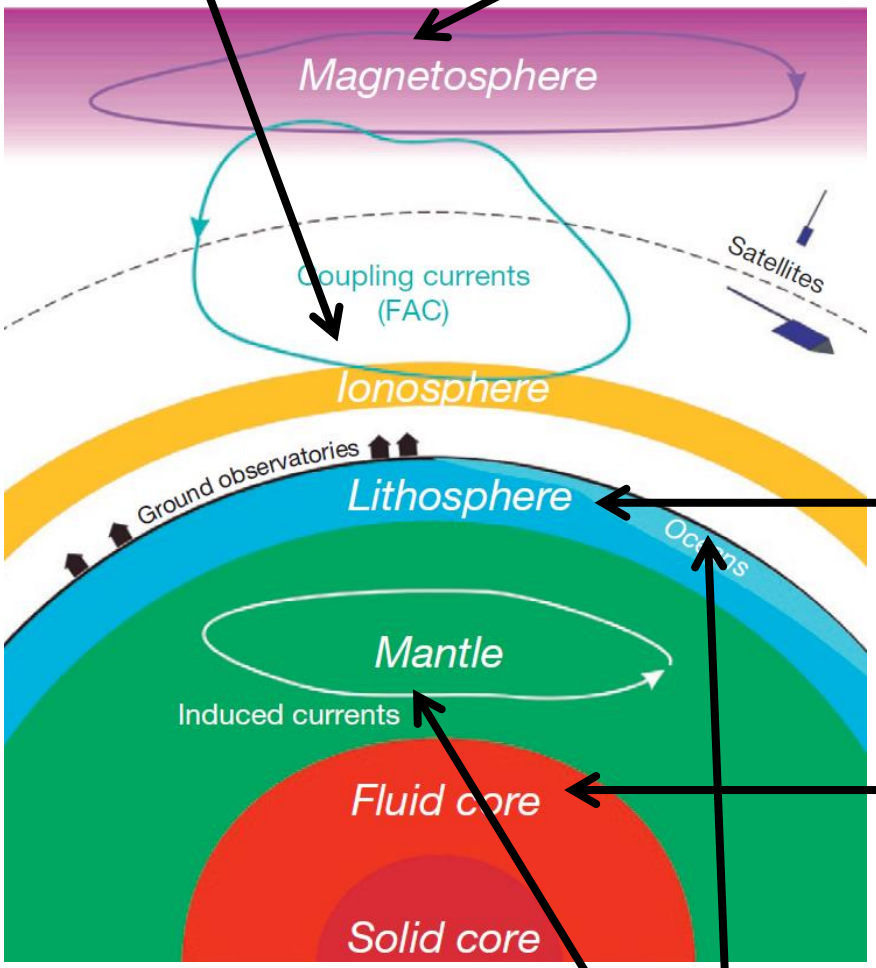
Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas

Ionosfera

Magnetosfera



Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo externo

Por fim, outras fontes do campo geomagnético são correntes elétricas induzidas na crosta, manto e oceanos. Estas correntes são produzidas por variações temporais do campo geomagnético.

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Crosta, manto e oceanos

Fonte: correntes elétricas

Campo total (ou campo interno)

Campo ionosférico

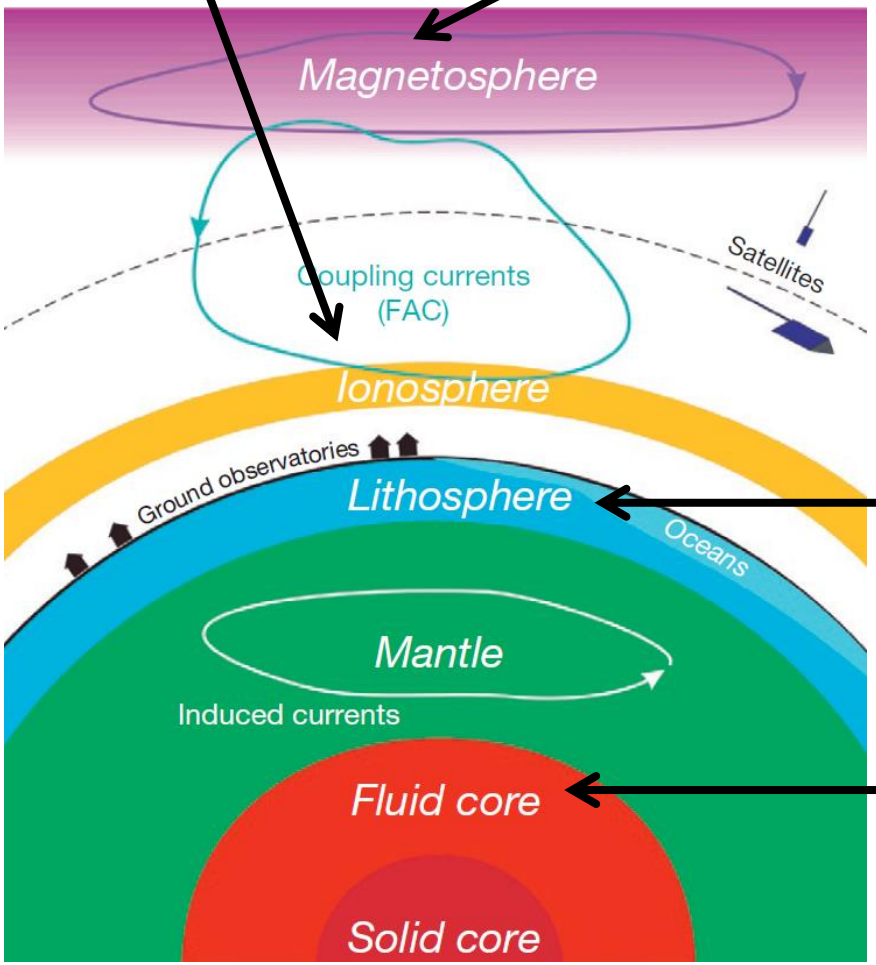
Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas

Ionosfera

Magnetosfera



Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo externo

Estas componentes do campo geomagnético são denominadas **campos induzidos**.

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

Crosta, manto e oceanos

Fonte: correntes elétricas

Campos induzidos

Campo ionosférico

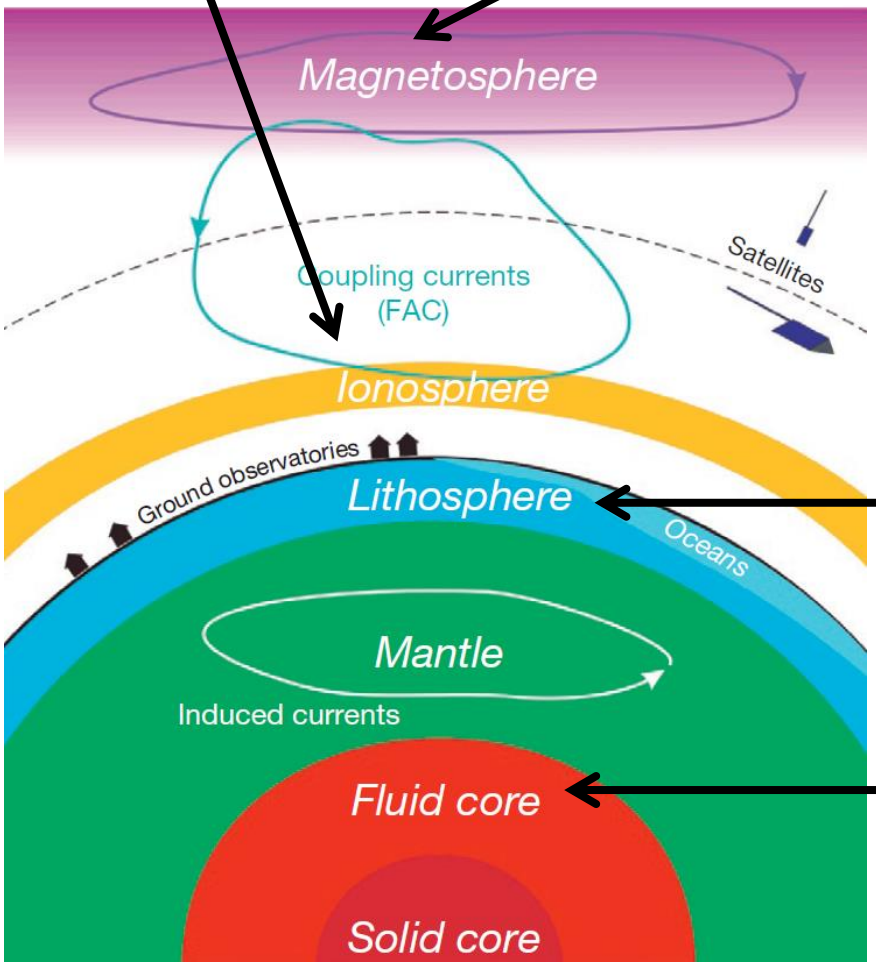
Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas

Ionosfera

Magnetosfera



Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo externo

Estes campos, sobretudo a parcela produzida por variações temporais do campo externo, podem atingir amplitudes significativas. Contudo, sempre menores que as observadas para o campo externo.

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

Crosta, manto e oceanos

Fonte: correntes elétricas

Campos induzidos

Campo ionosférico

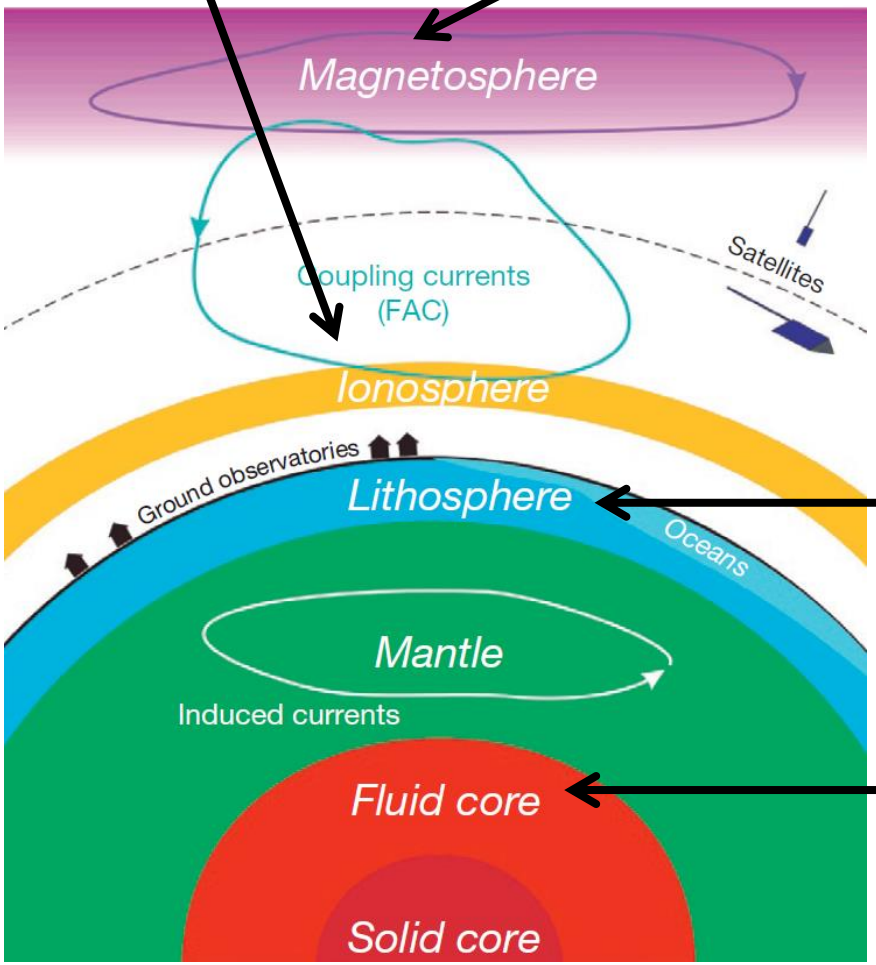
Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas

Ionosfera

Magnetosfera



Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo externo

Em resumo...

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

Crosta, manto e oceanos

Fonte: correntes elétricas

Campos induzidos

Campo ionosférico

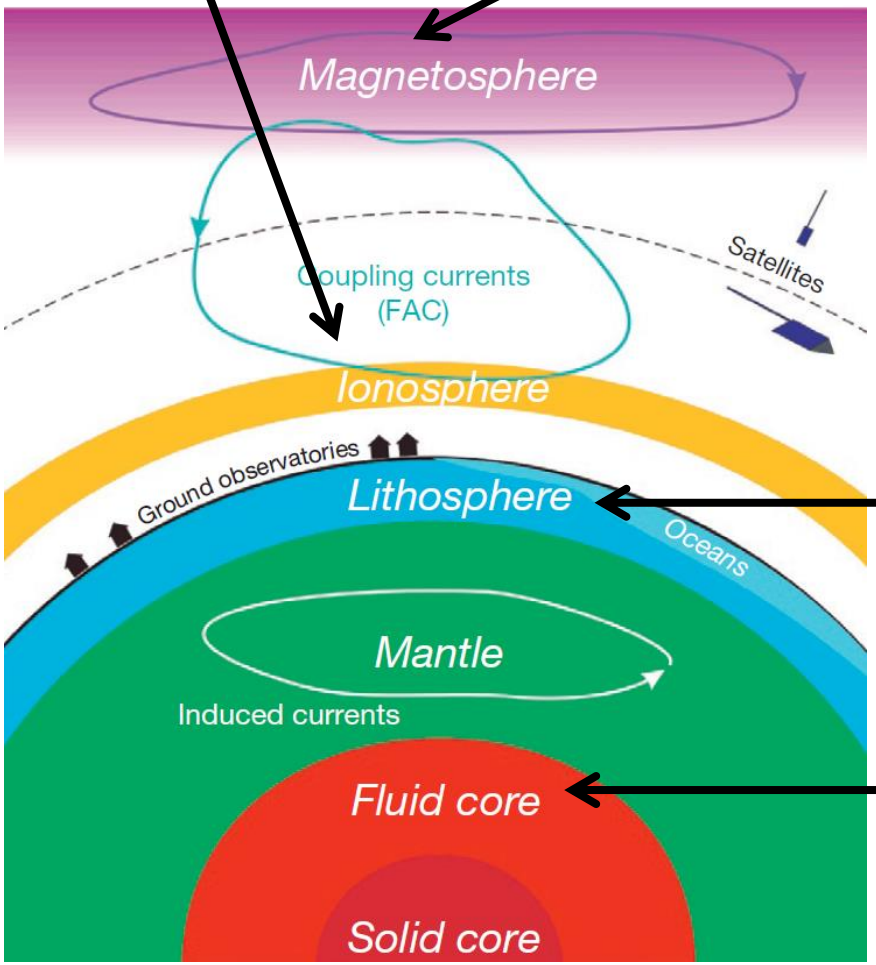
Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas

Ionosfera

Magnetosfera



Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo externo

Em resumo...

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

Crosta, manto e oceanos

Fonte: correntes elétricas

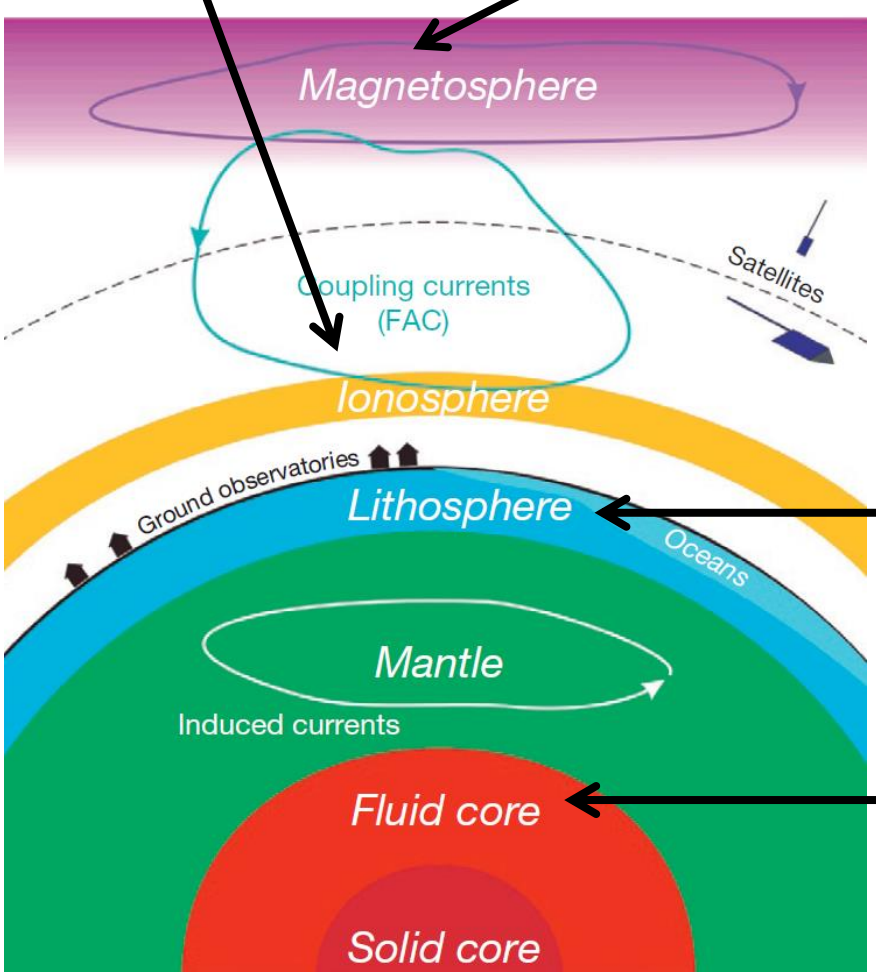
Campos induzidos

Campo ionosférico

Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas



Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo externo

Em resumo...

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

Crosta, manto e oceanos

Fonte: correntes elétricas

Campos induzidos

Campo ionosférico

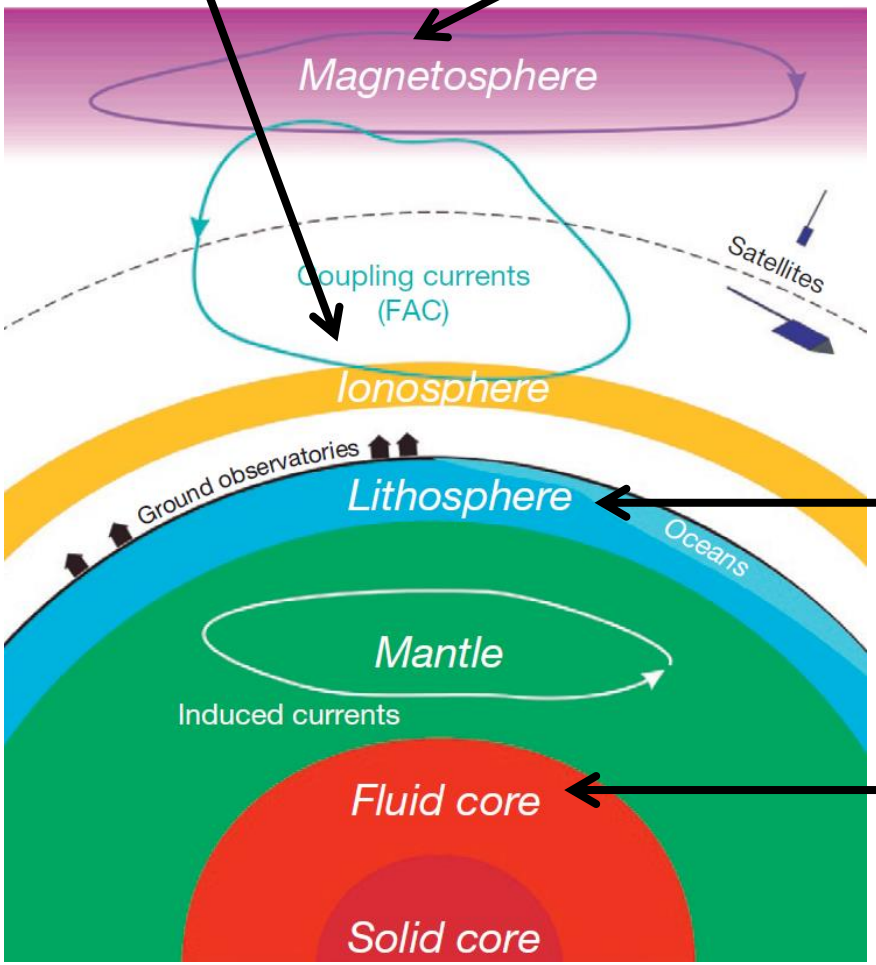
Fonte: correntes elétricas

Ionosfera

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas

Magnetosfera



Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo externo

Em resumo...

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

Crosta, manto e oceanos

Fonte: correntes elétricas

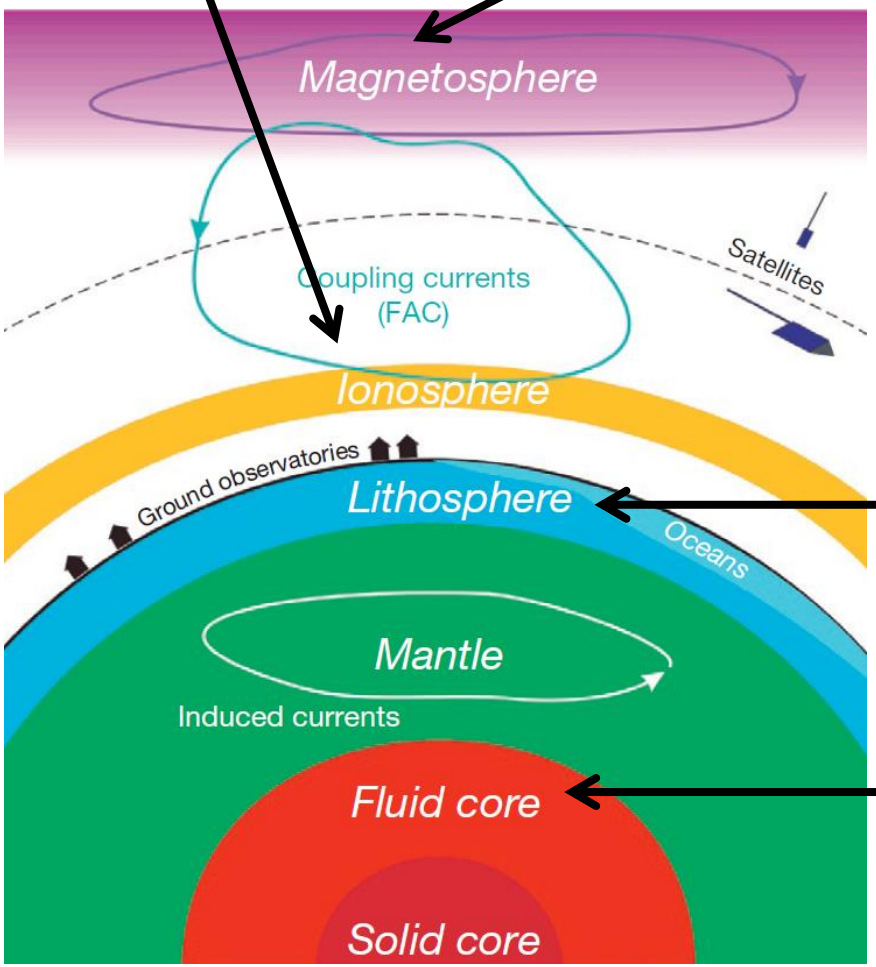
Campos induzidos

Campo ionosférico

Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas



Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo externo

Contudo, em geofísica aplicada...

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

Campo total (ou campo interno)

Crosta, manto e oceanos

Fonte: correntes elétricas

Campos induzidos

Campo ionosférico

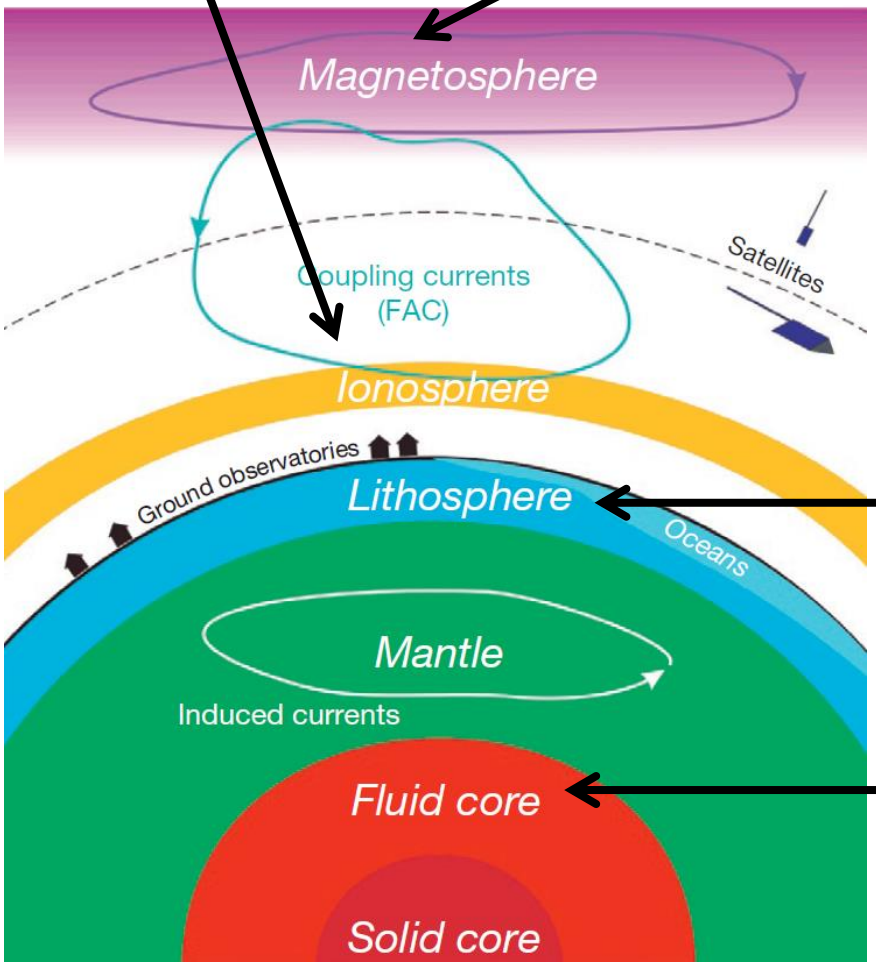
Fonte: correntes elétricas

Campo magnetosférico

Fonte: correntes elétricas

Ionosfera

Magnetosfera



Modificado de Hulot et al. (2015)

Campo externo

... estamos interessados apenas no campo total

Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

Campo principal

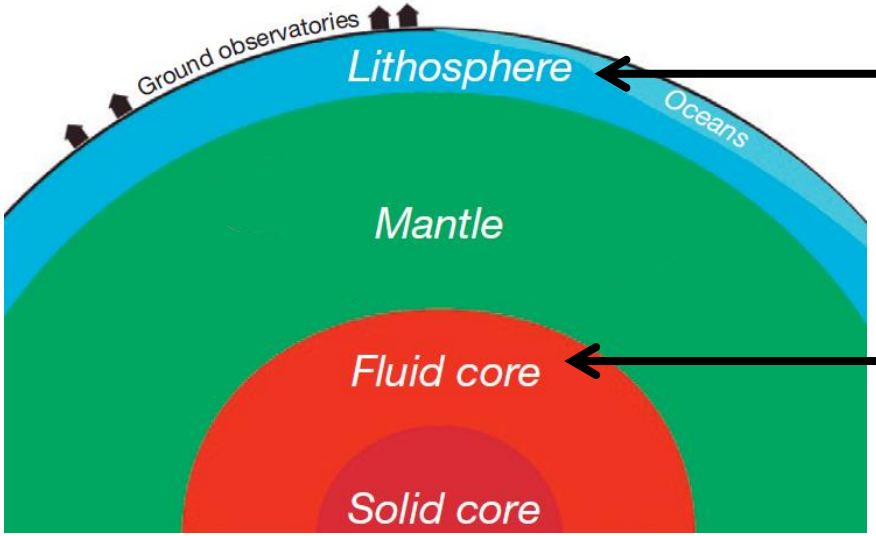
Campo total (ou campo interno)

Crosta, manto e oceanos

Fonte: correntes elétricas

Campos induzidos

As demais componentes do campo geomagnético são removidas no processamento dos dados



Litosfera

Fonte: rochas magnetizadas

Campo crustal

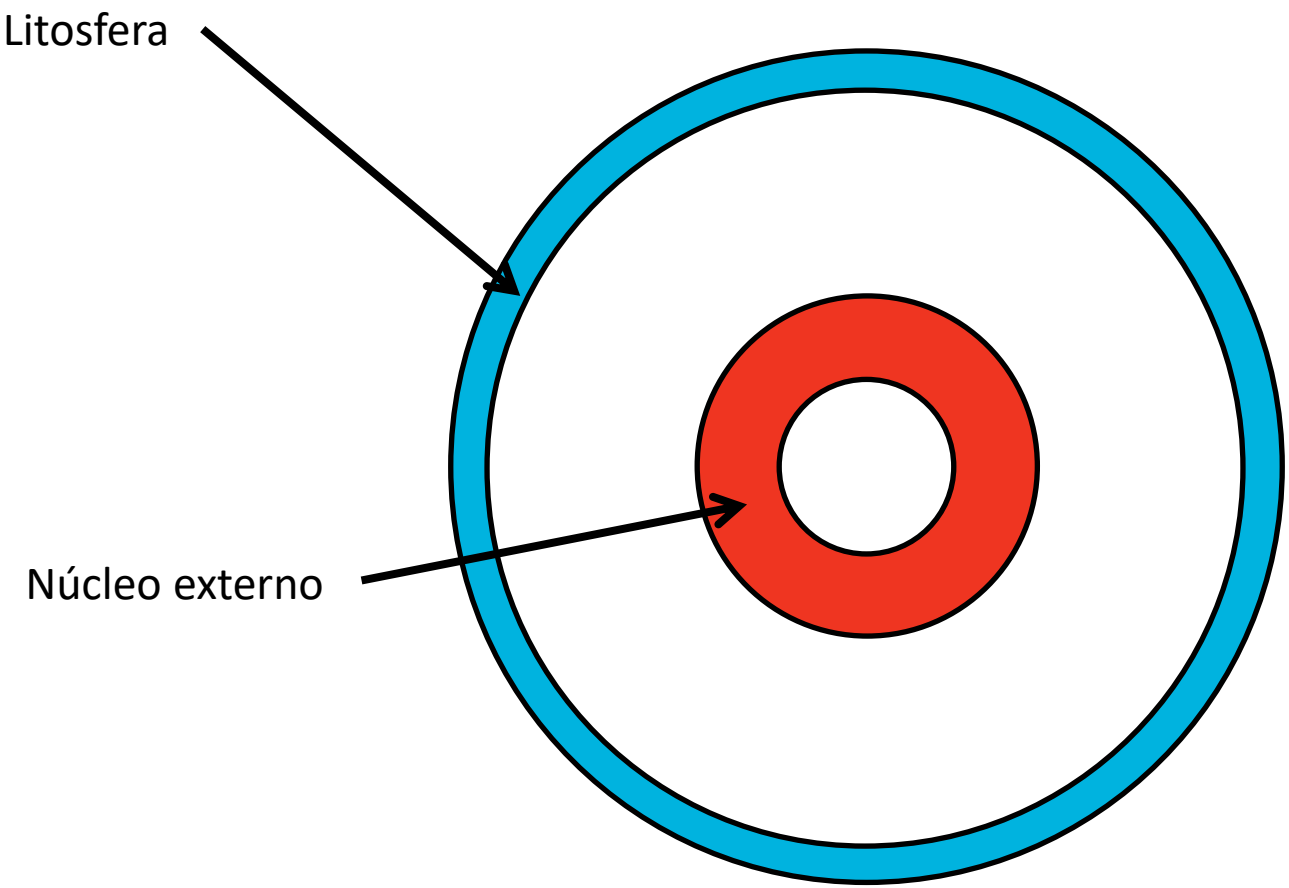
Núcleo externo

Fonte: correntes elétricas

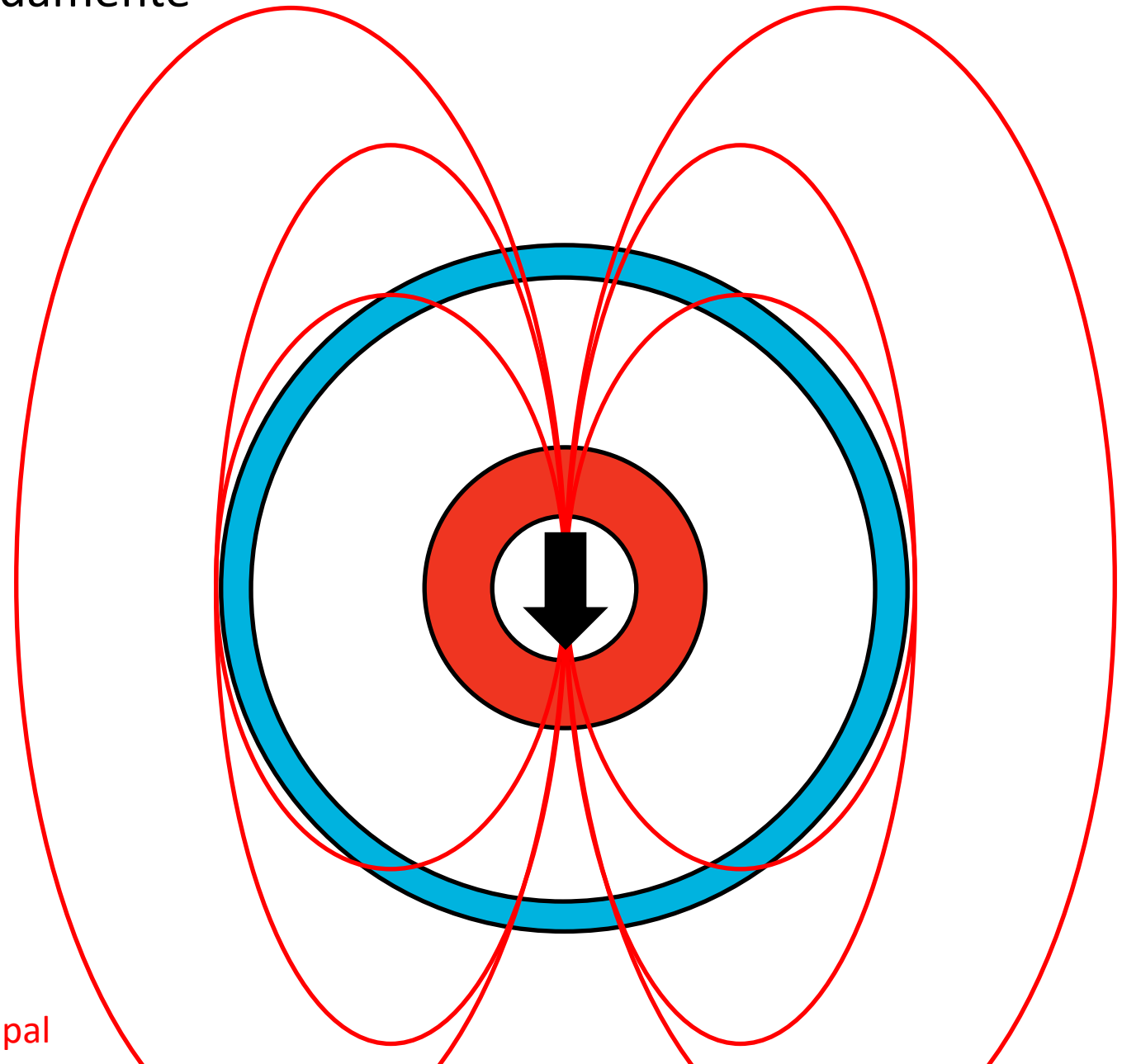
Campo principal

Campo total (ou campo interno)

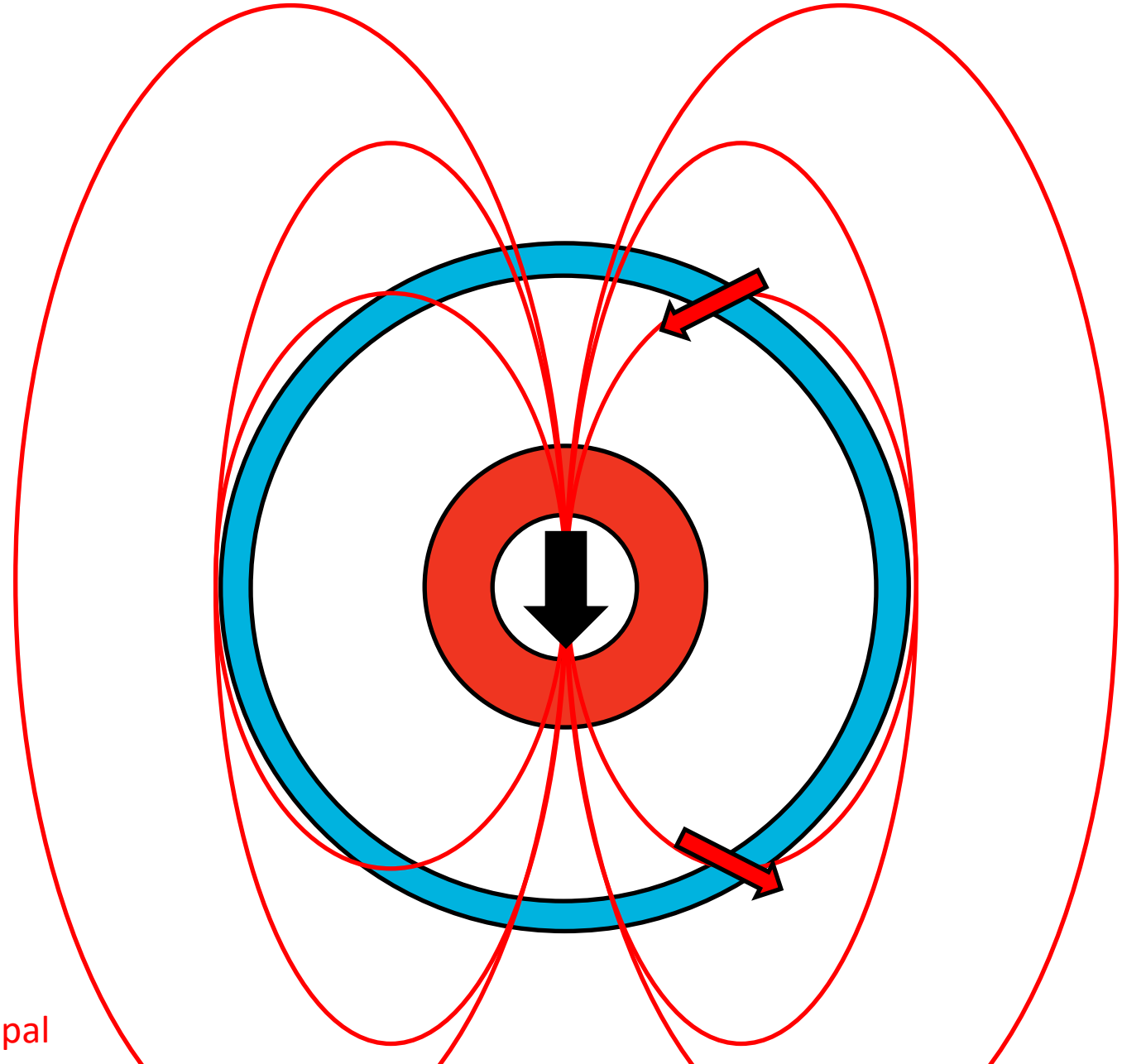
Modificado de Hulot et al. (2015)


Litosfera
Núcleo externo

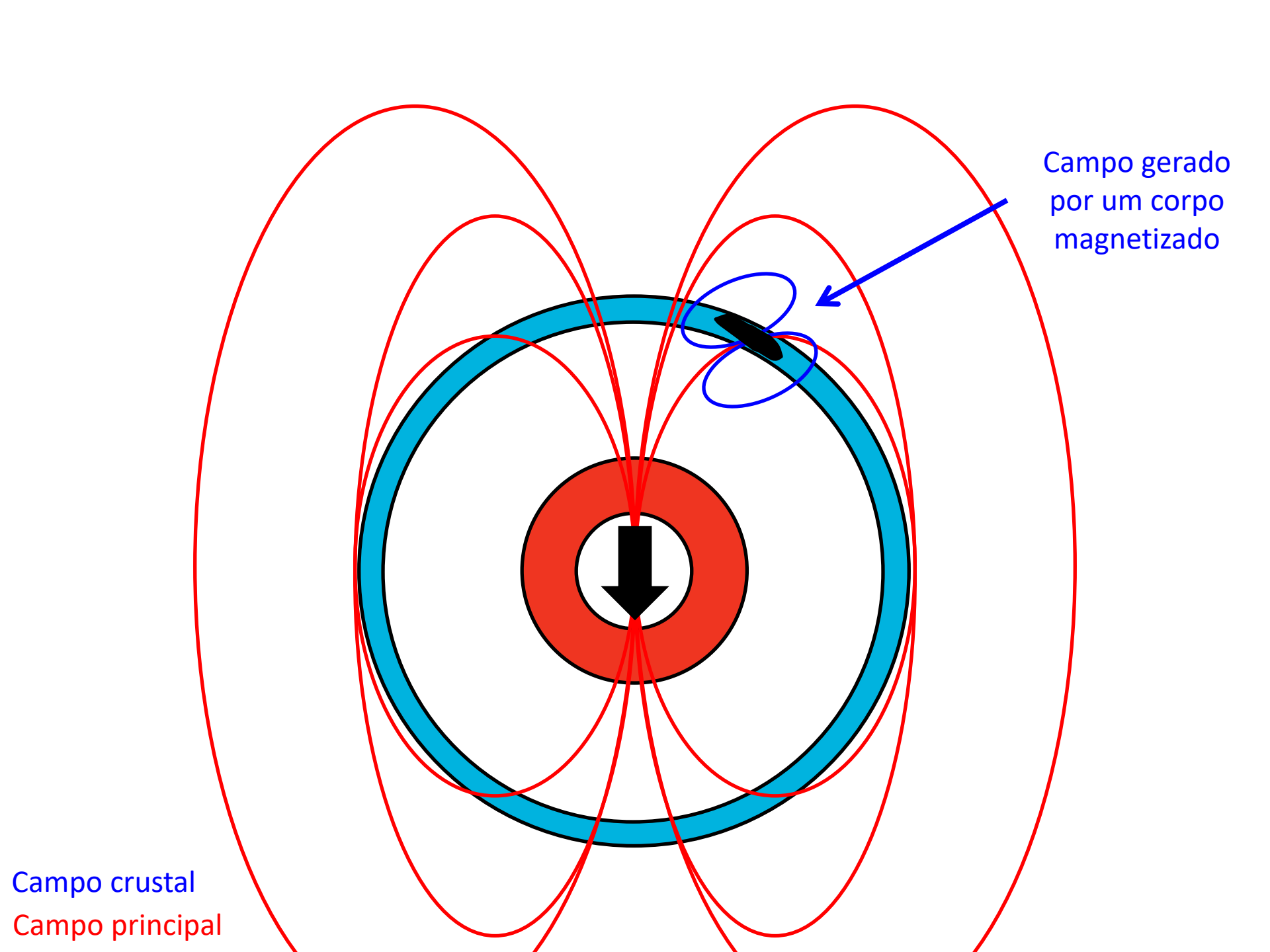
O campo principal é aproximadamente dipolar

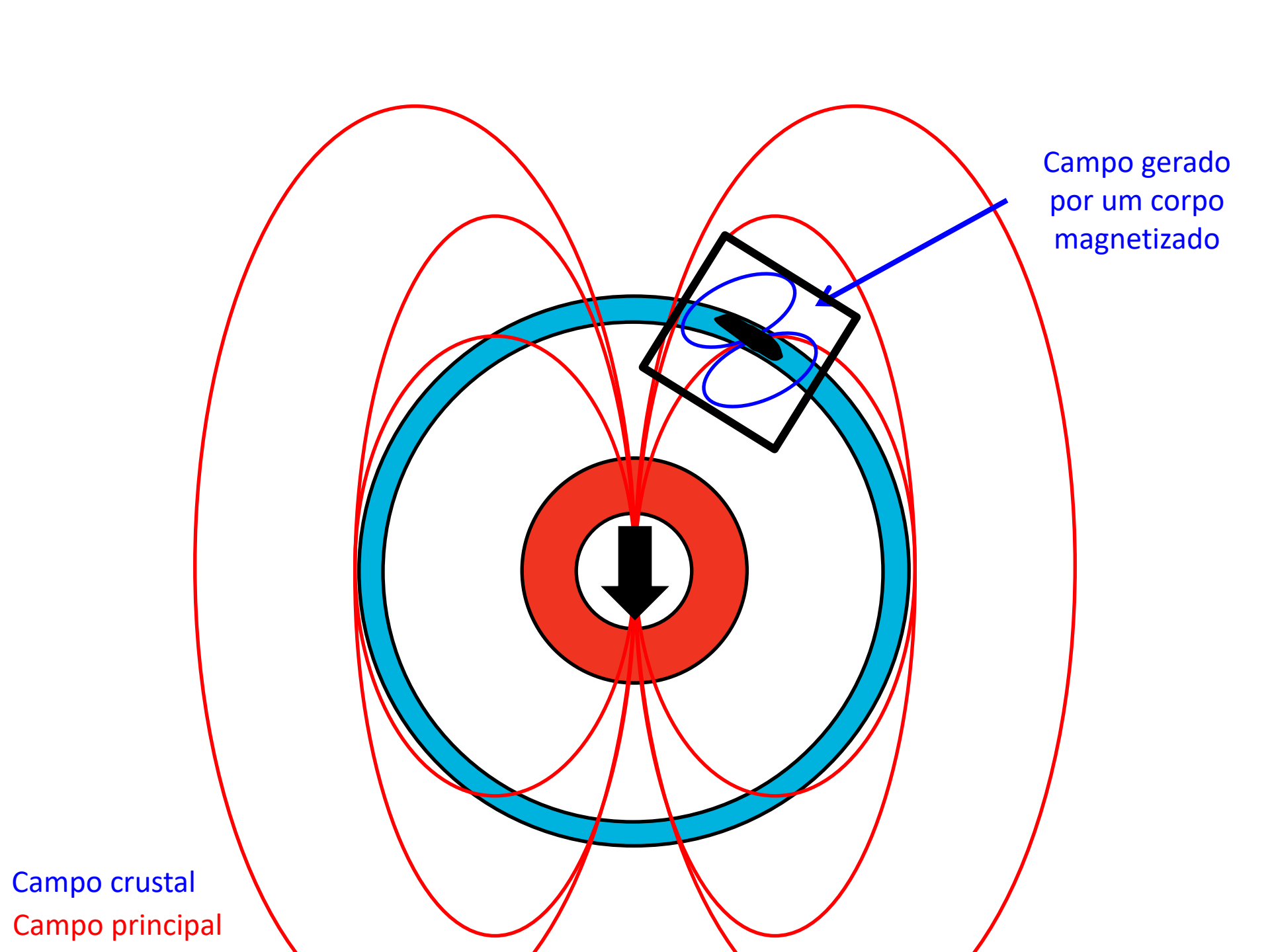


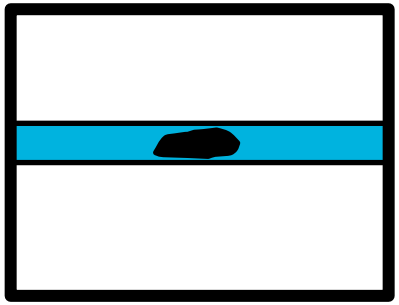
Campo principal

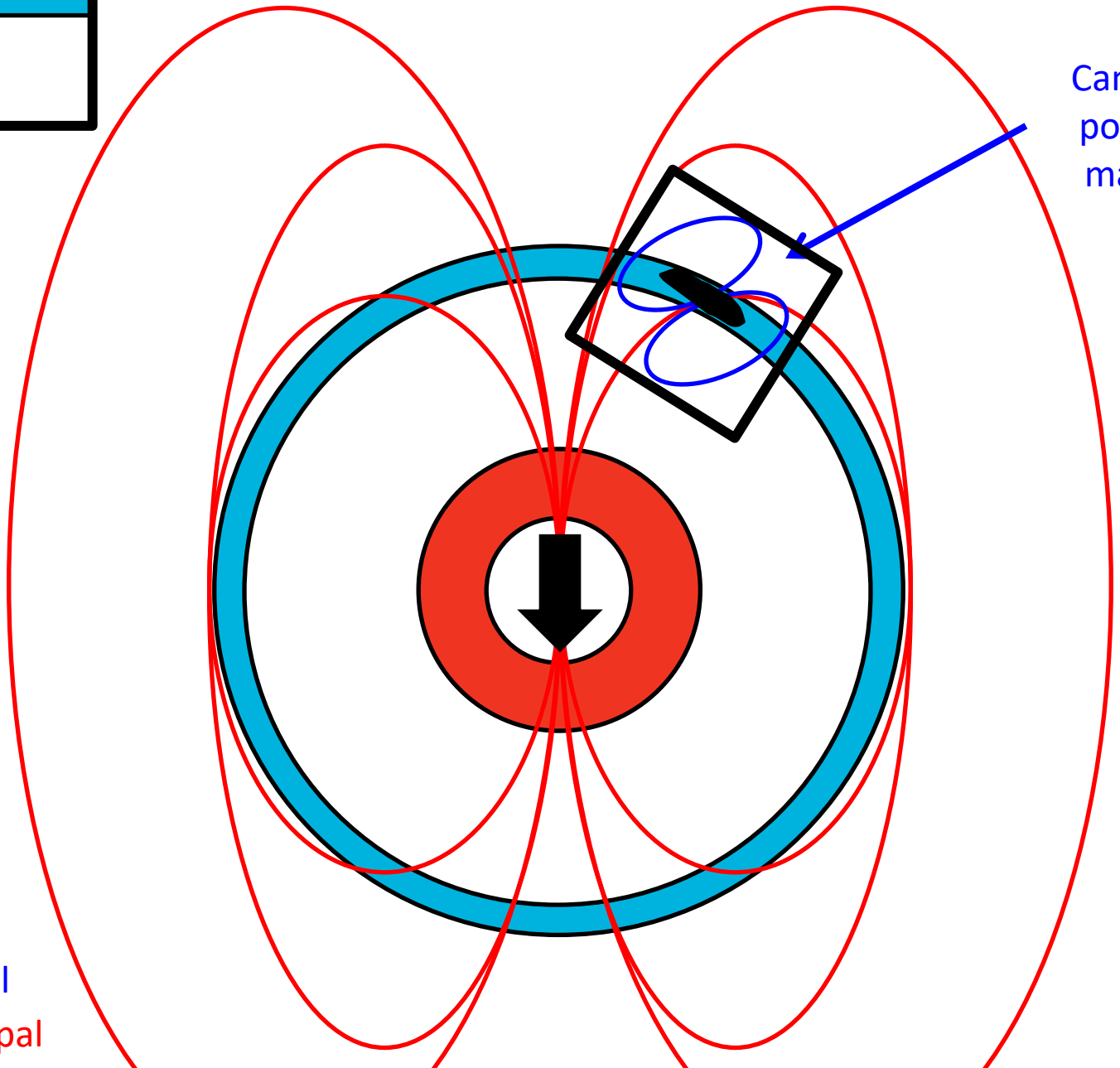


Campo principal


Campo gerado
por um corpo
magnetizado
Campo crustal
Campo principal


Campo gerado
por um corpo
magnetizado
Campo crustal
Campo principal

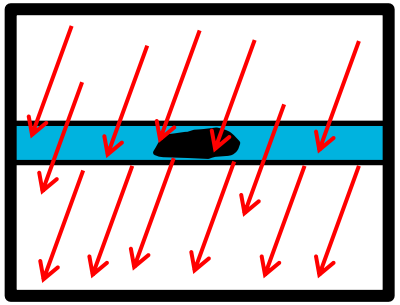


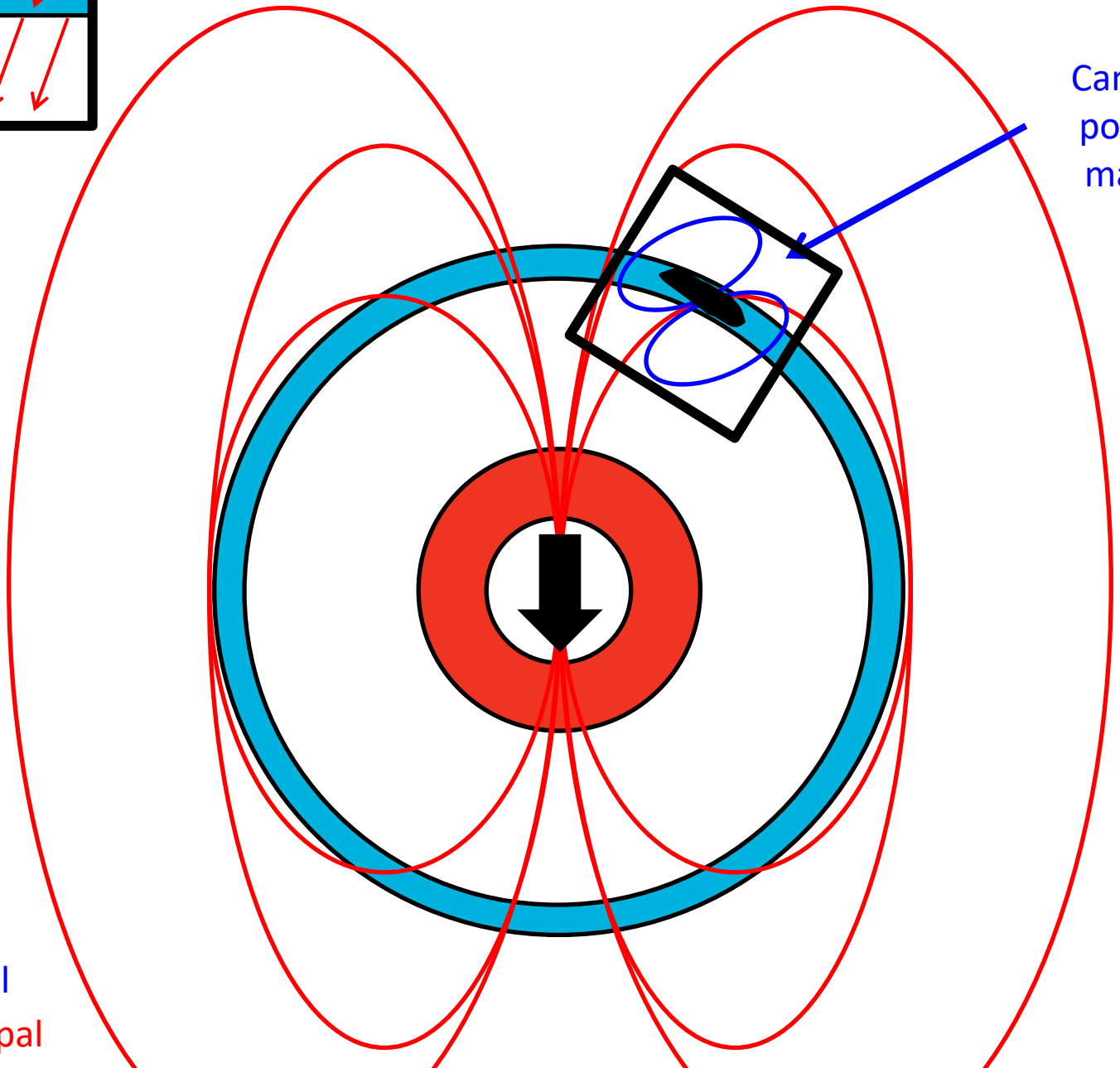


Campo gerado por um corpo magnetizado

Campo crustal

Campo principal

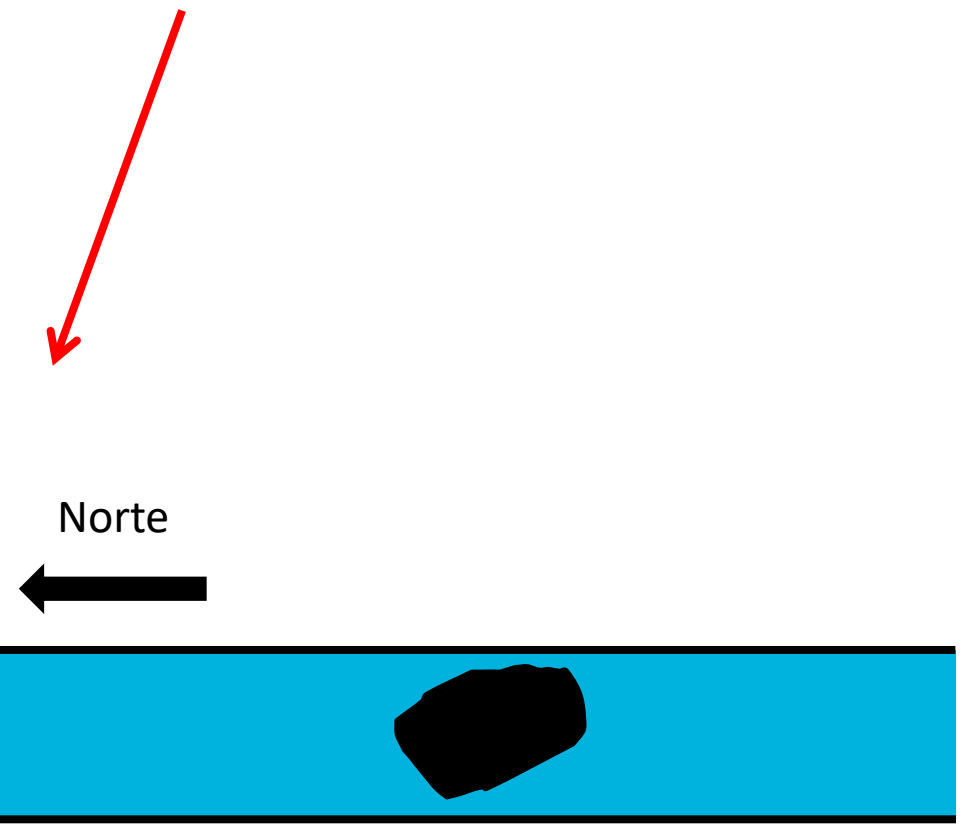


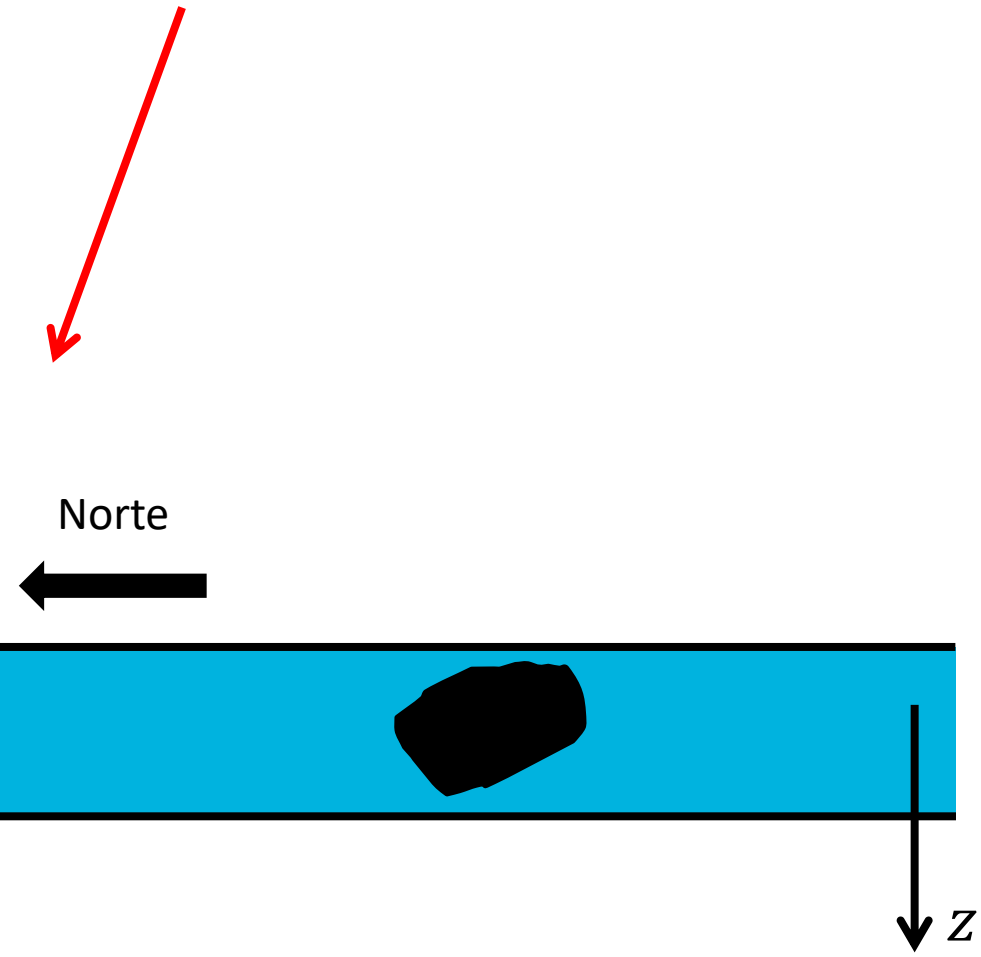


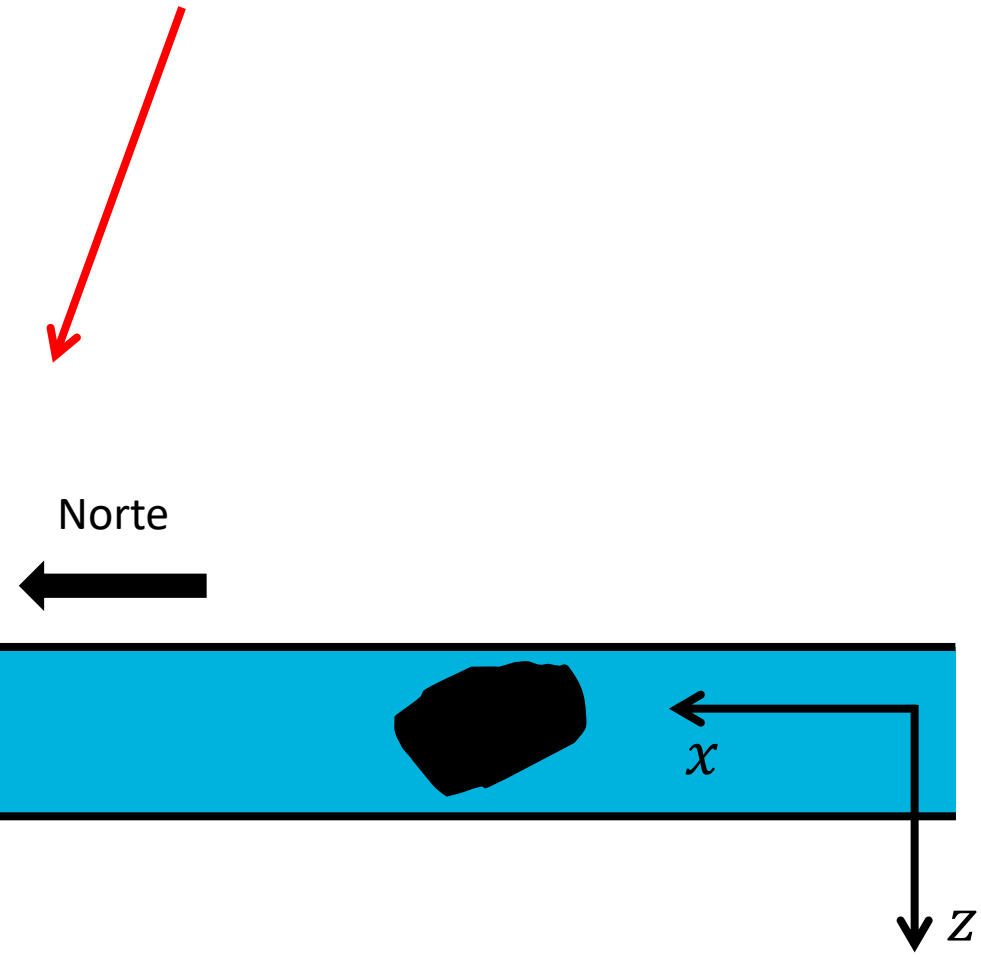
Campo gerado por um corpo magnetizado

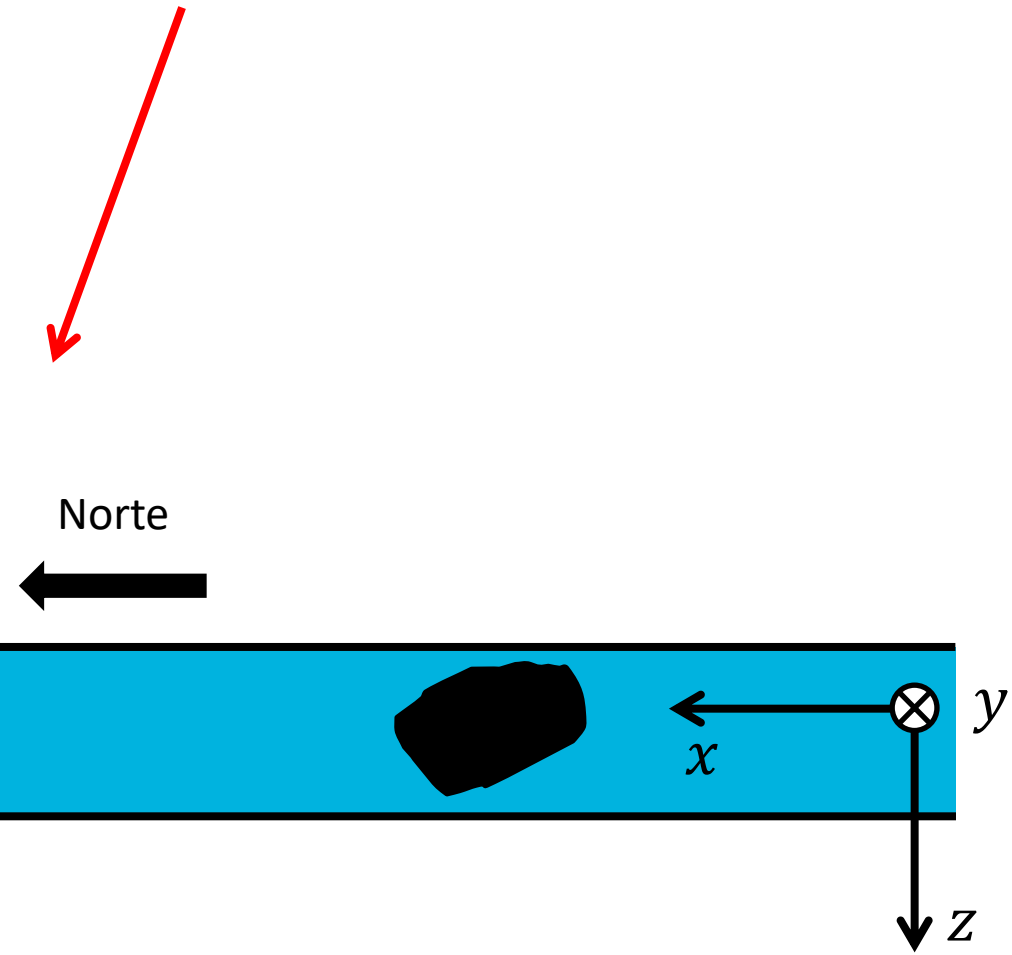
Campo crustal

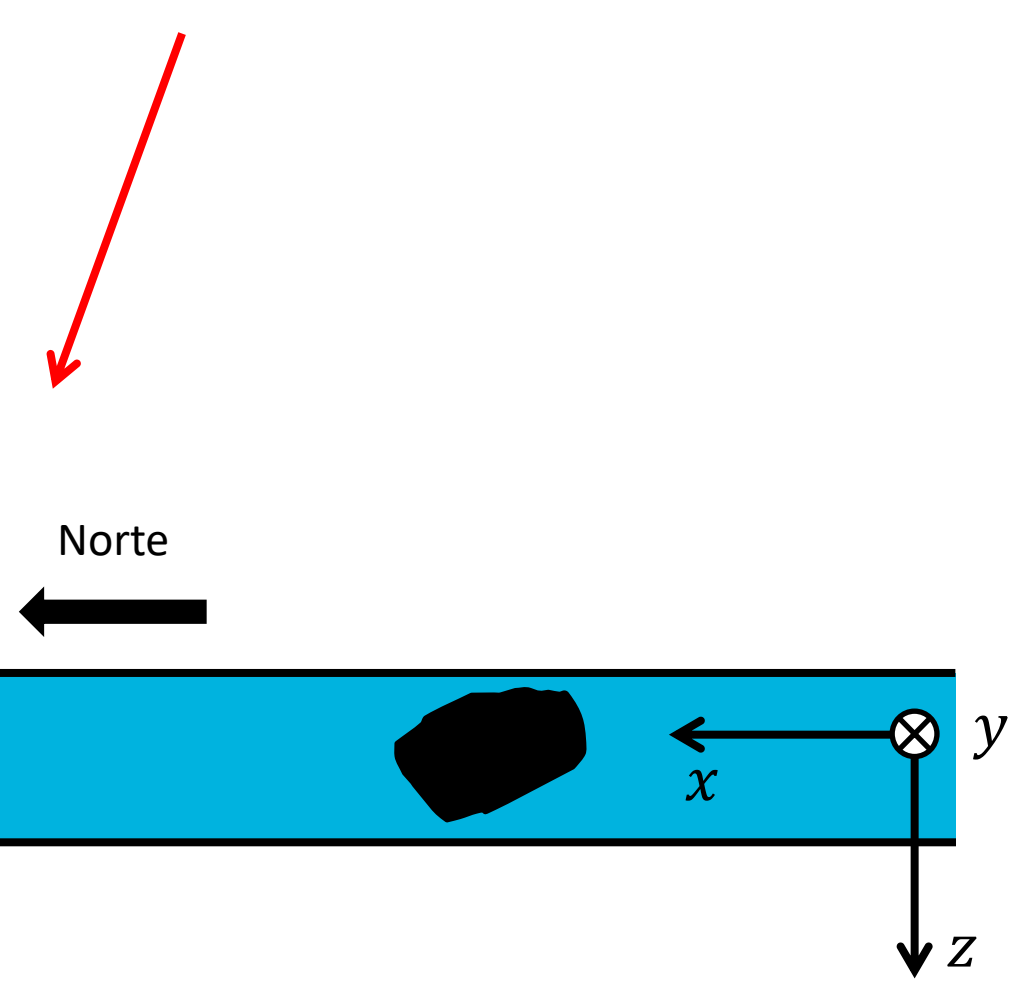
Campo principal

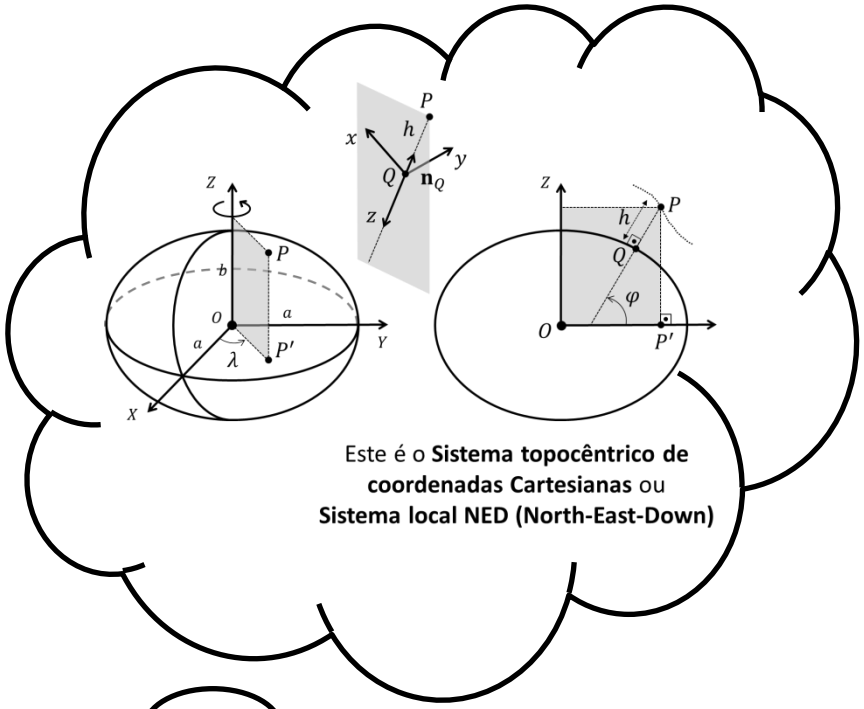

Norte


Norte
z

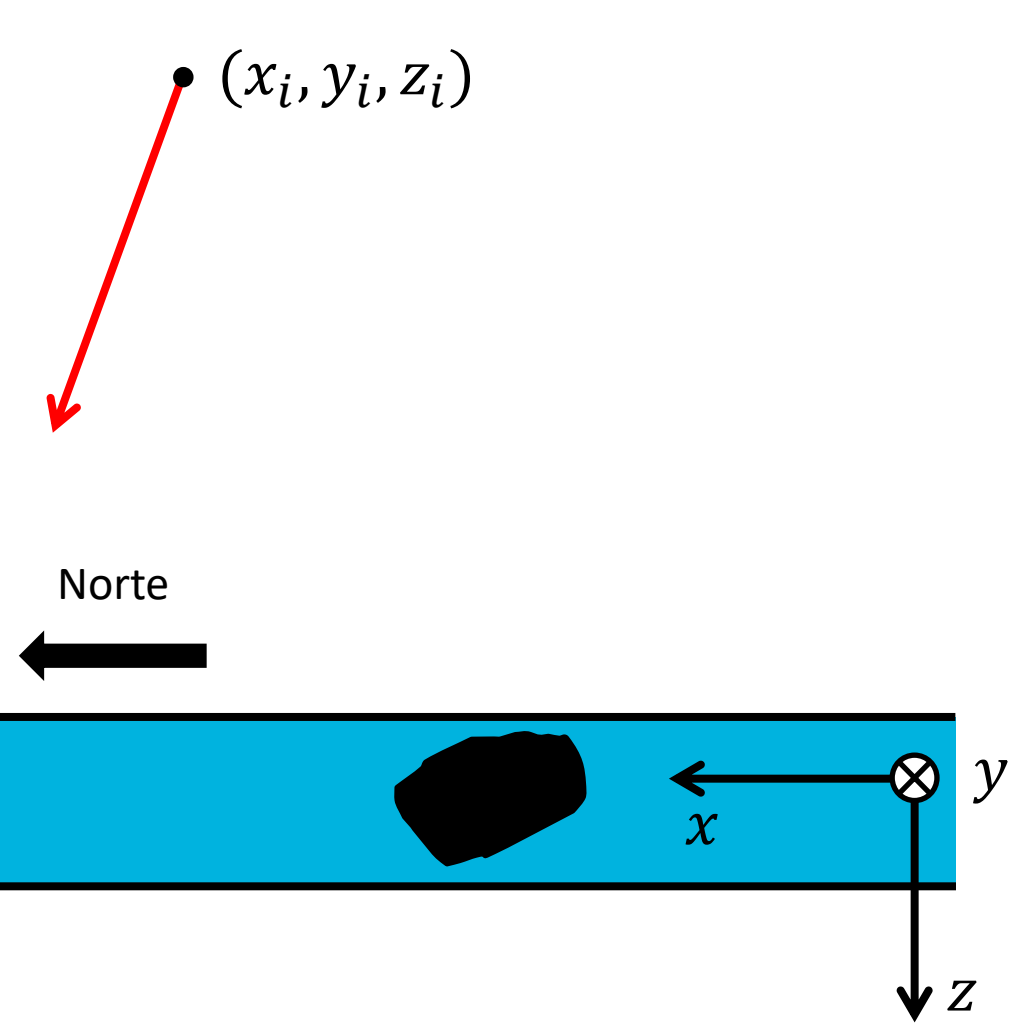

Norte
x
z

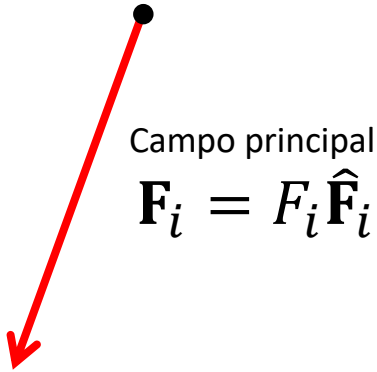

Norte
y
x
z





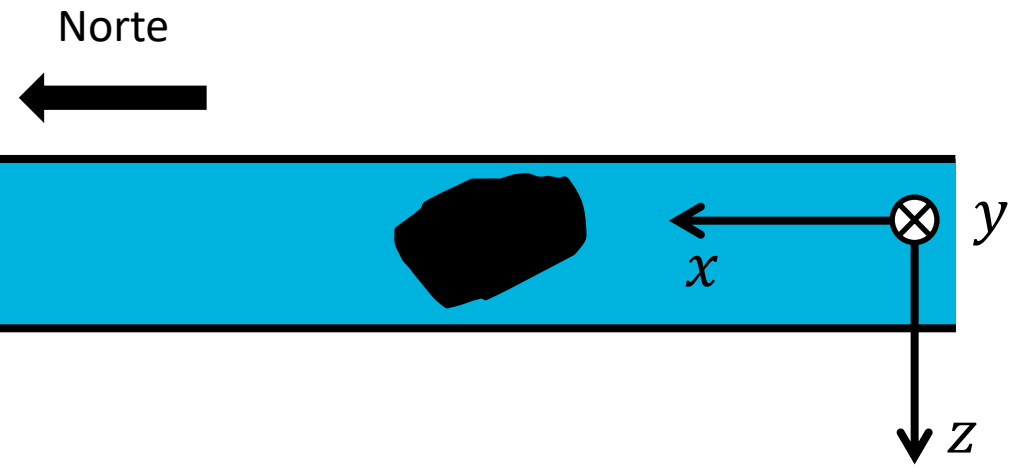
Este é o **Sistema topocêntrico de coordenadas Cartesianas** ou **Sistema local NED (North-East-Down)**

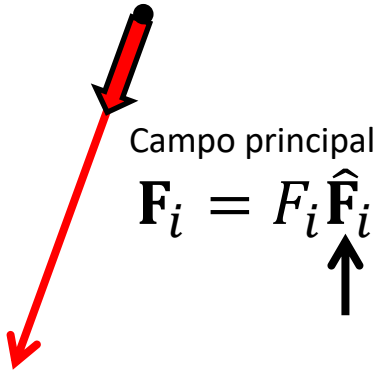

(x_i, y_i, z_i)
Norte
y
x
z



Campo principal

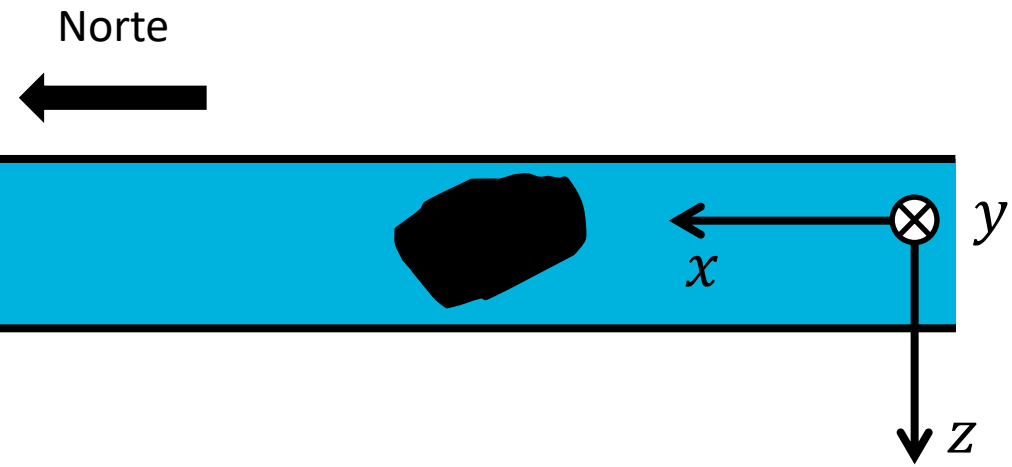
$$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$$

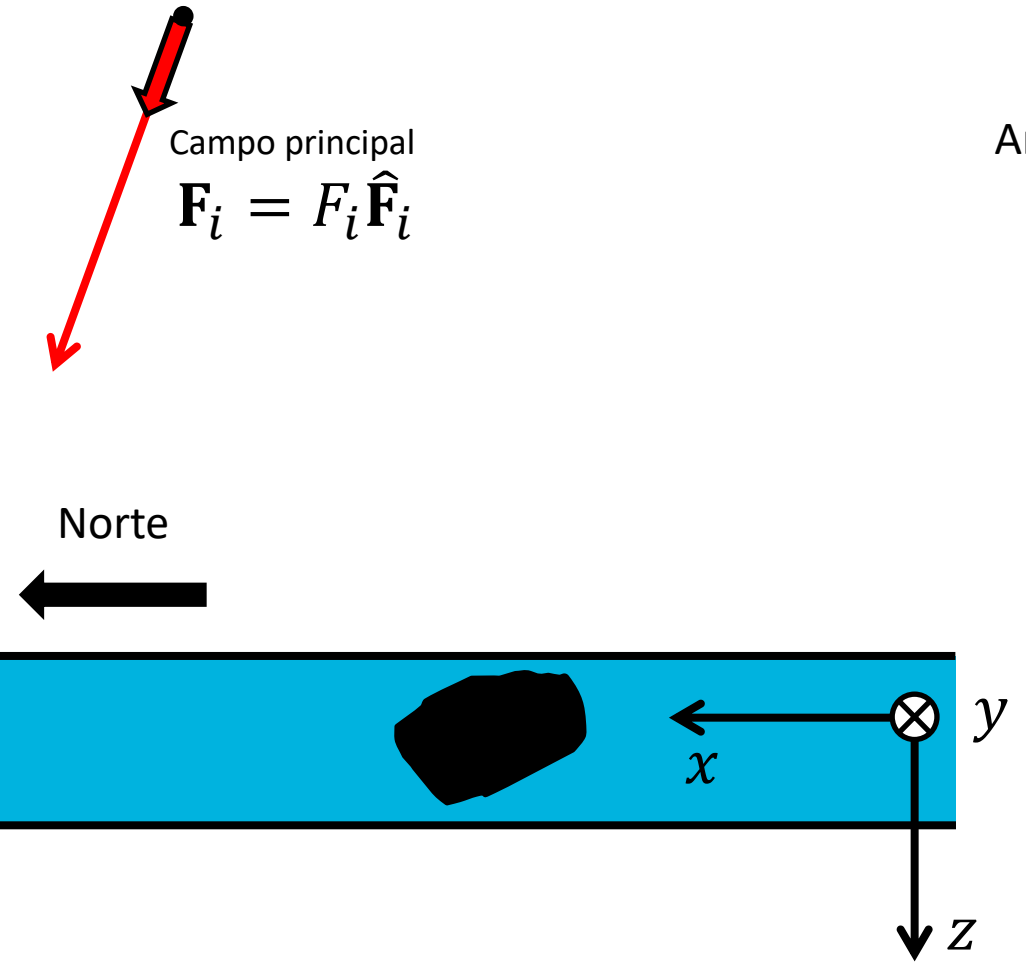


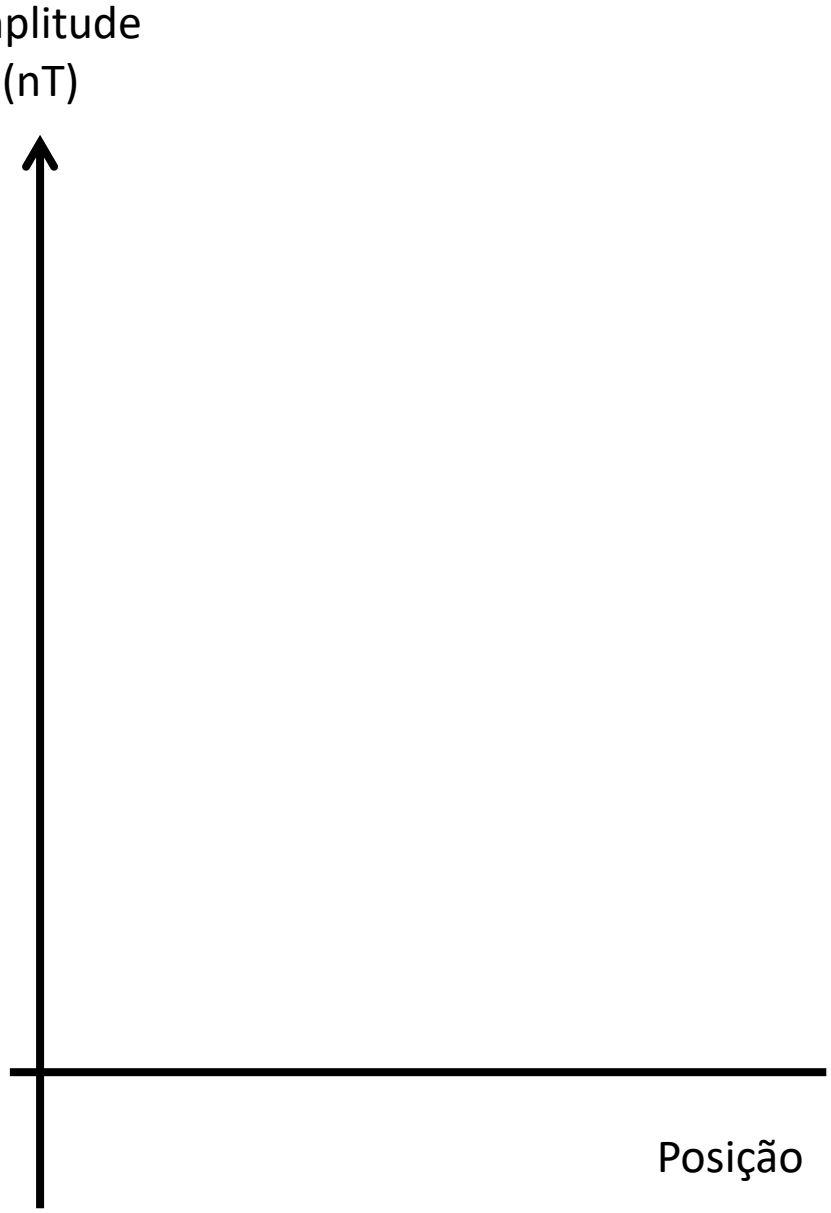


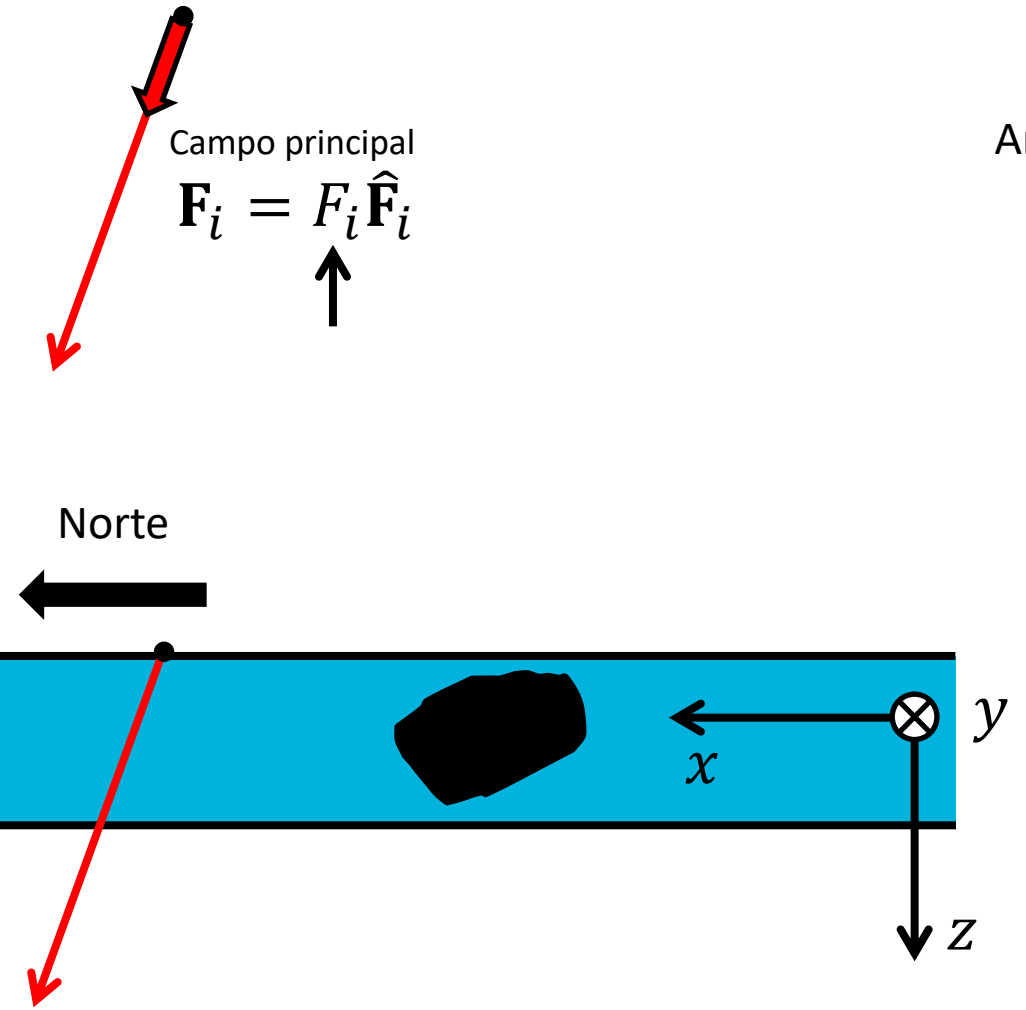
Campo principal

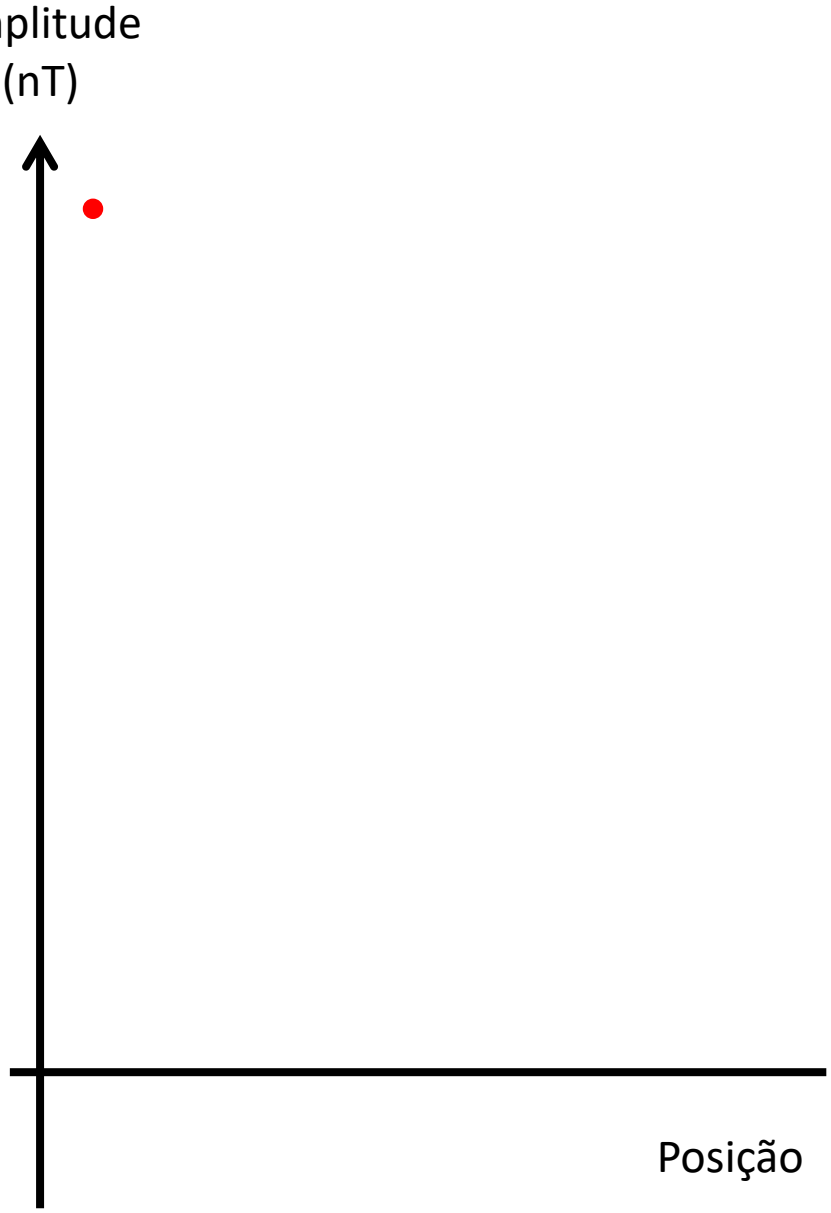
$$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$$

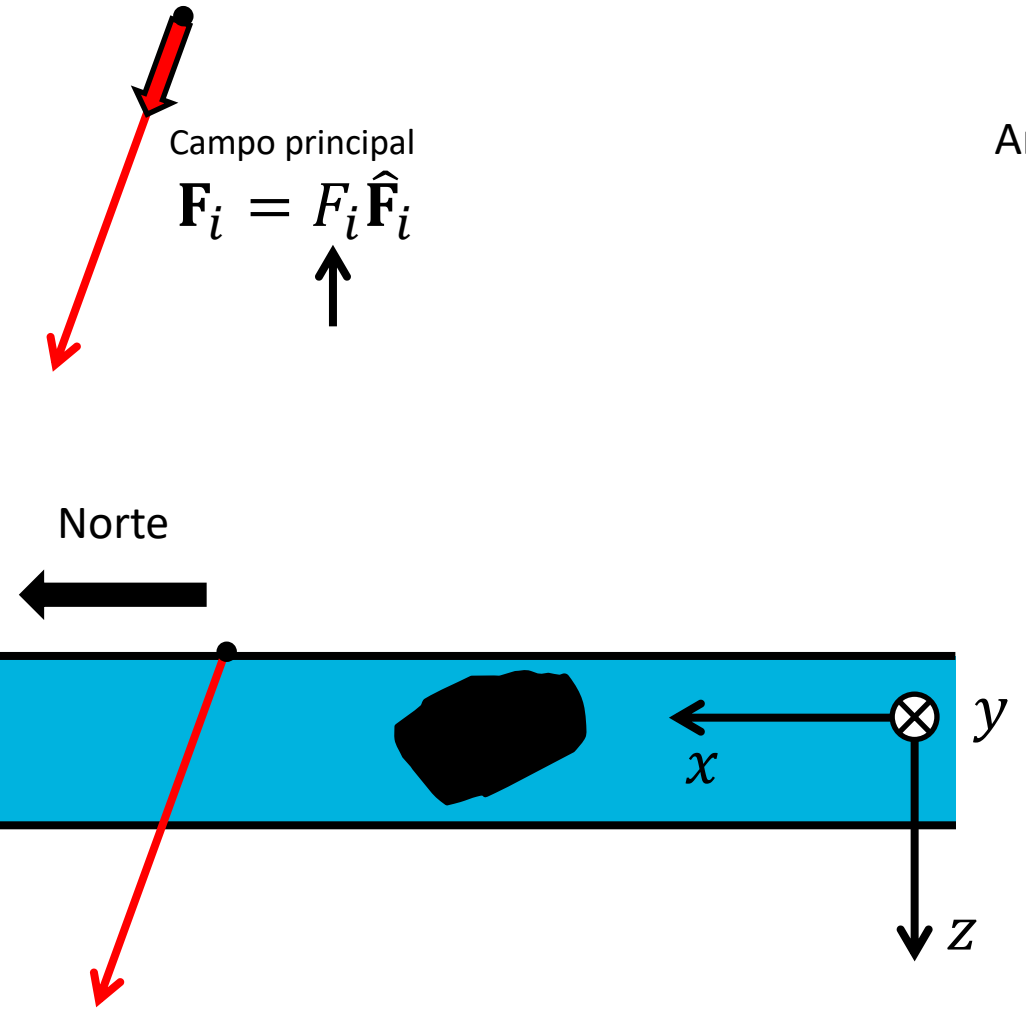


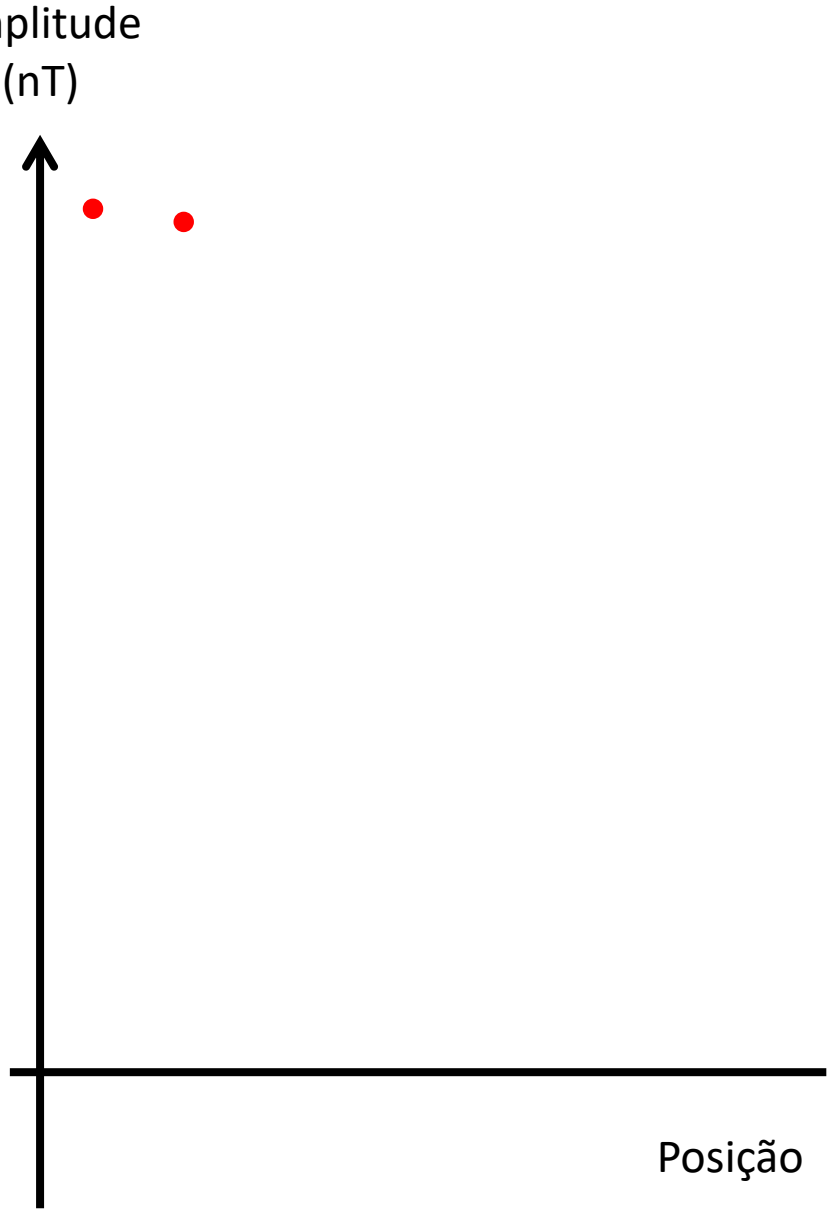

Campo principal
$\mathbf{F}_i = F_i\hat{\mathbf{F}}_i$
Norte
y
x
z

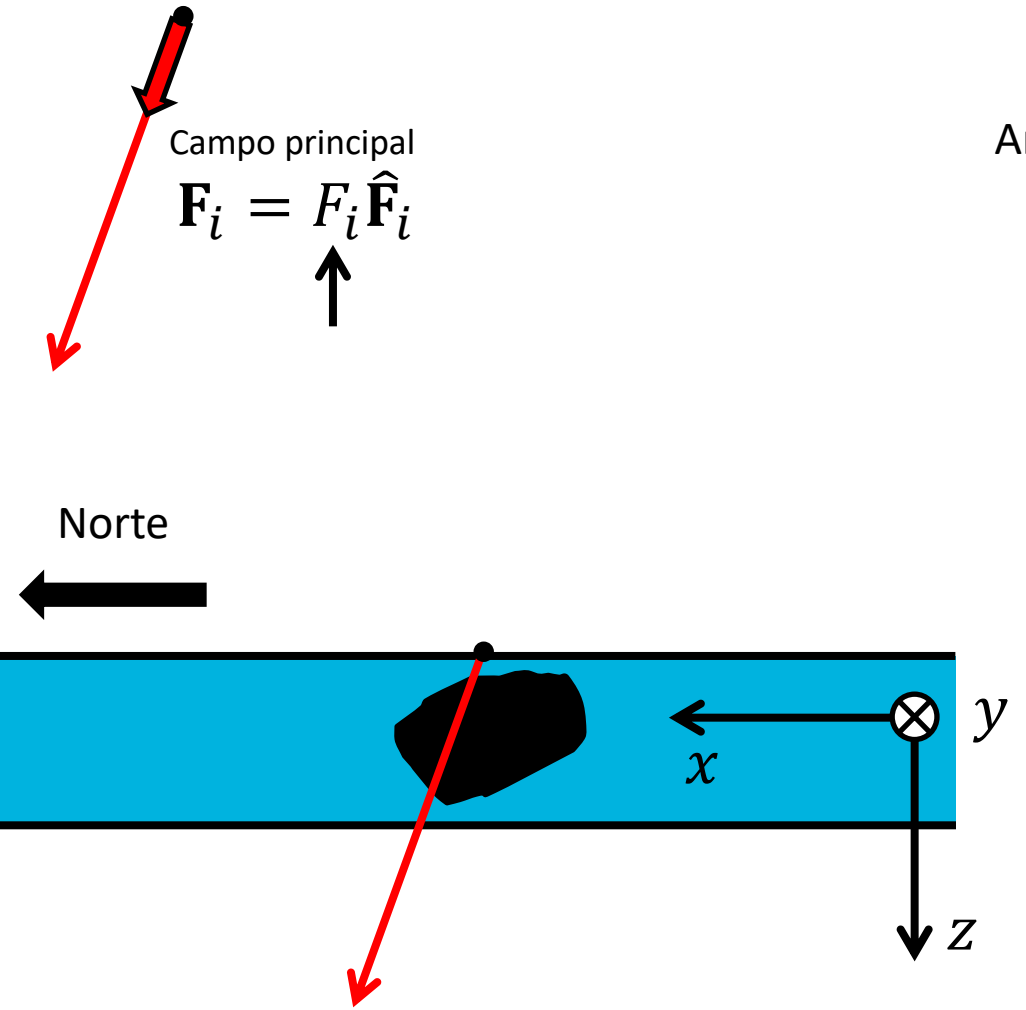

Amplitude
(nT)
Posição

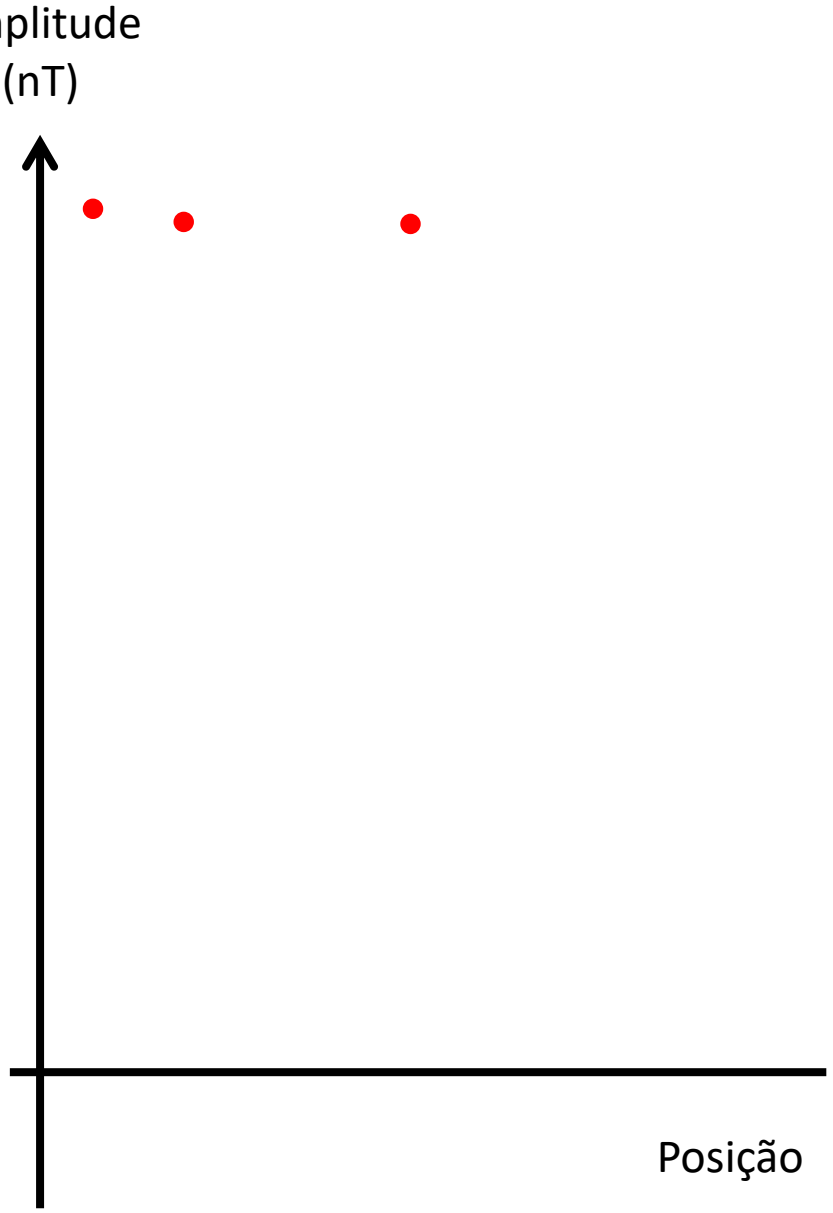

Campo principal
$\mathbf{F}_i = F_i\hat{\mathbf{F}}_i$
Norte
y
x
z

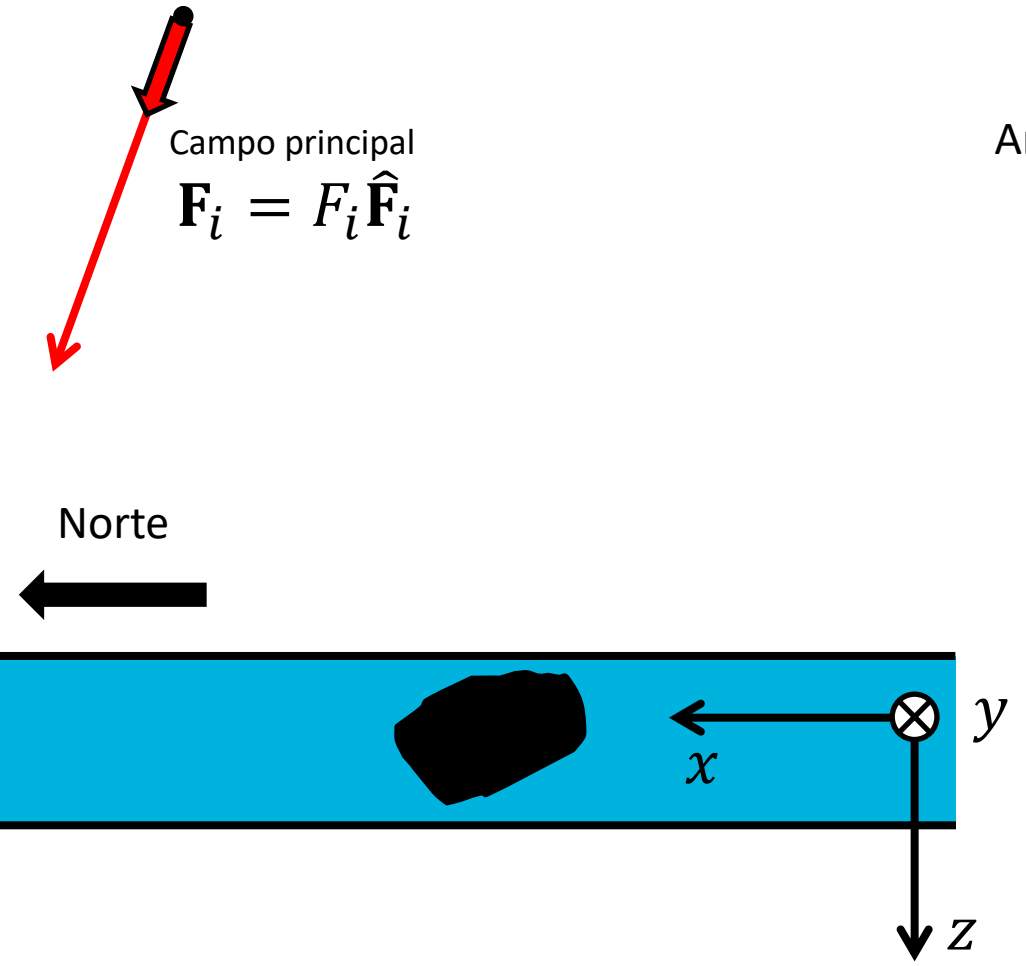

Amplitude
(nT)
Posição


Campo principal
$\mathbf{F}_i = F_i\hat{\mathbf{F}}_i$
Norte
y
x
z

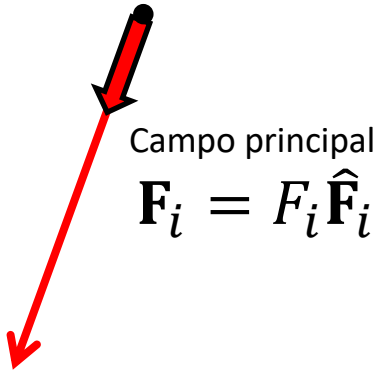

Amplitude
(nT)
Posição


Campo principal
$\mathbf{F}_i = F_i\hat{\mathbf{F}}_i$
Norte
y
x
z


Amplitude
(nT)
Posição

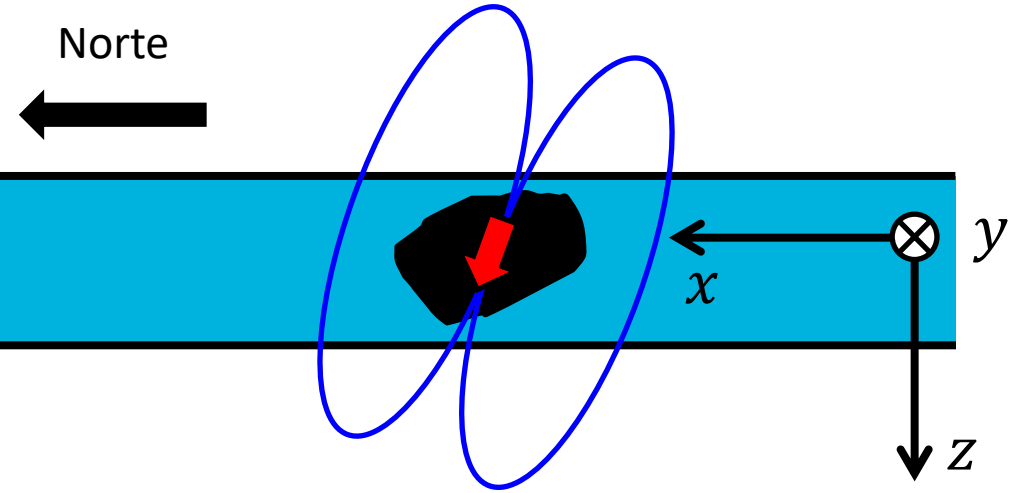

Campo principal
$\mathbf{F}_i = F_i\hat{\mathbf{F}}_i$
Norte
y
x
z


Amplitude
(nT)
F
Posição



Campo principal

$$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$$



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$

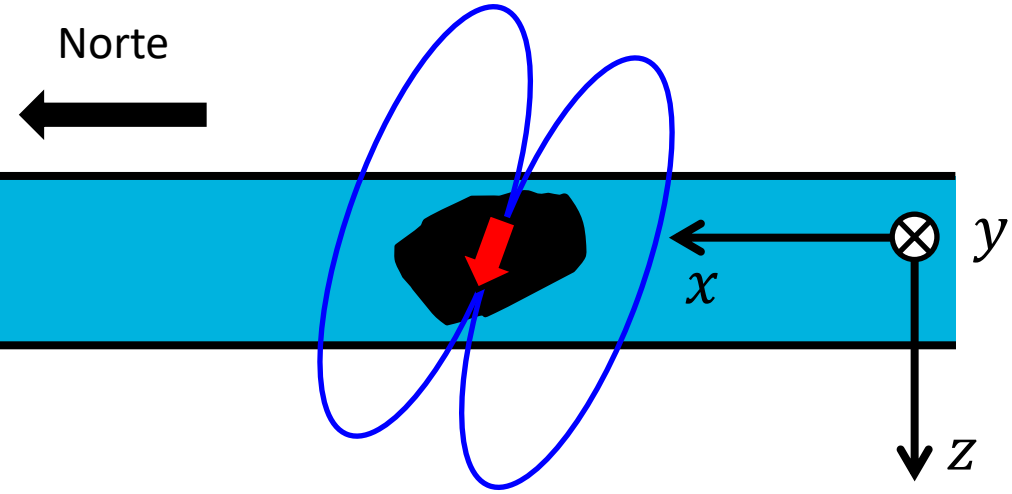
Campo crustal

$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

(x_i, y_i, z_i)

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$



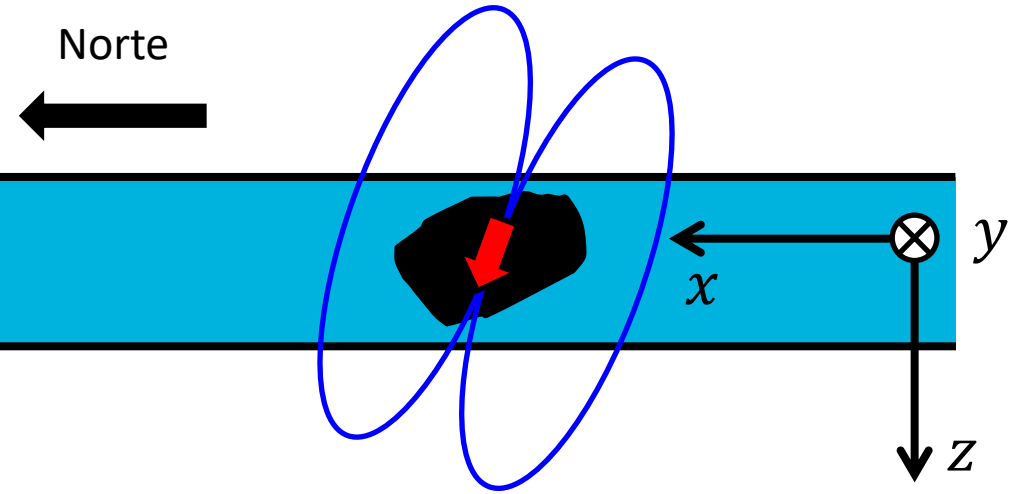
Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$

Campo principal

$$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$$

Campo crustal

$$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$$



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$

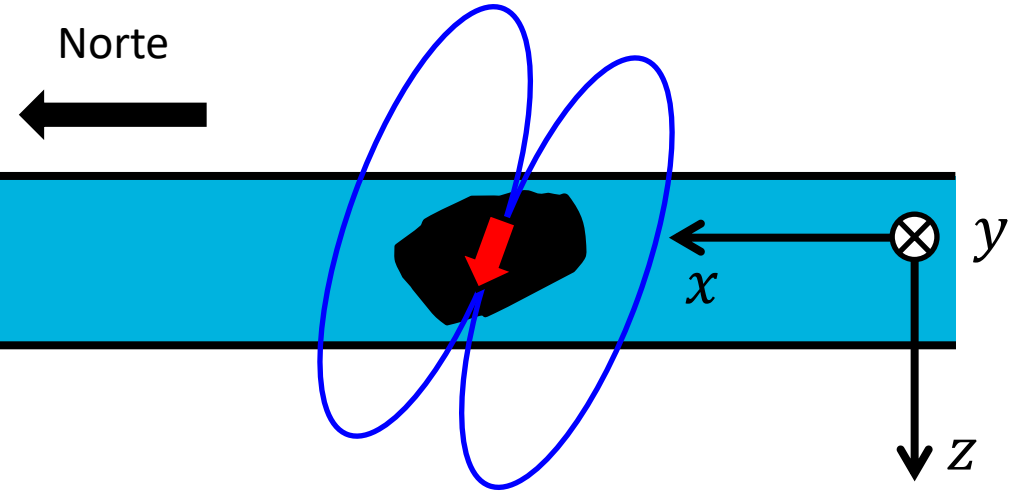
$F_i \gg B_i$

Campo crustal

$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$

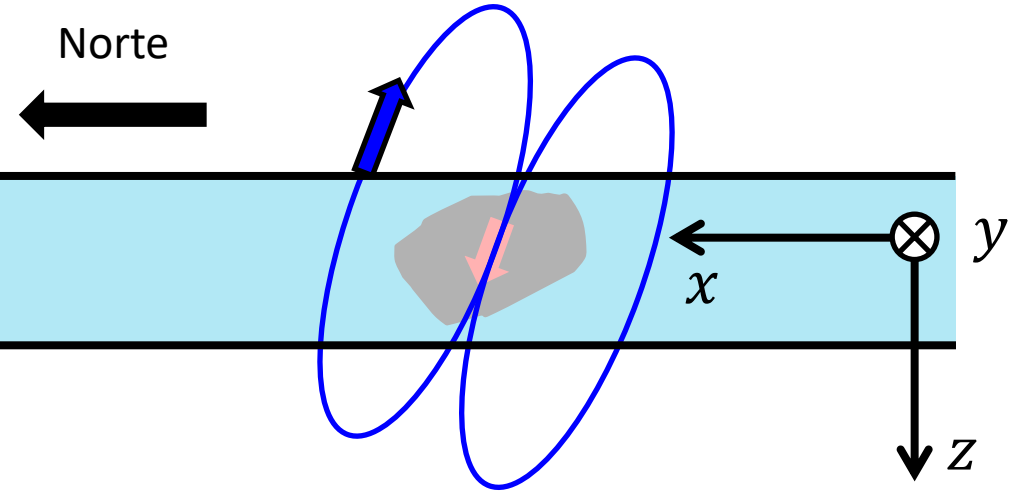
$F_i \gg B_i$

Campo crustal

$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$

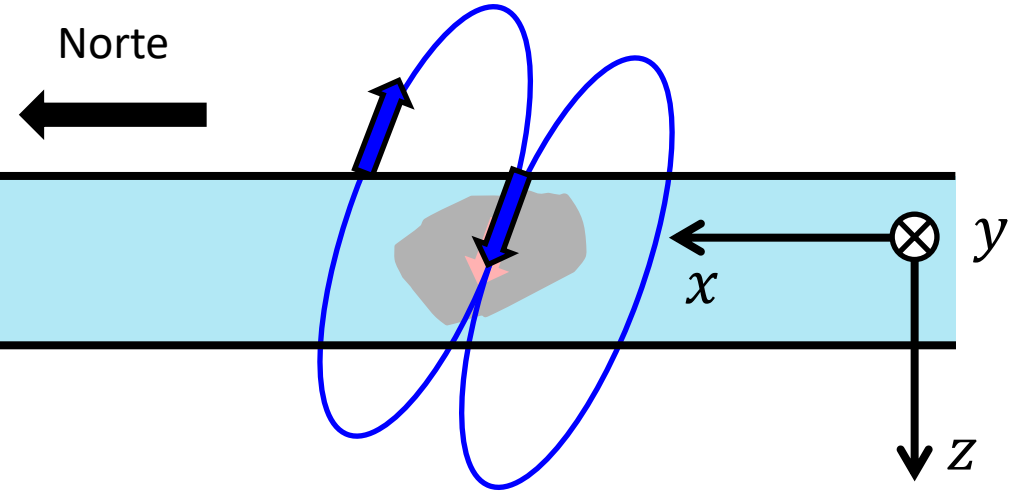
$F_i \gg B_i$

Campo crustal

$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$

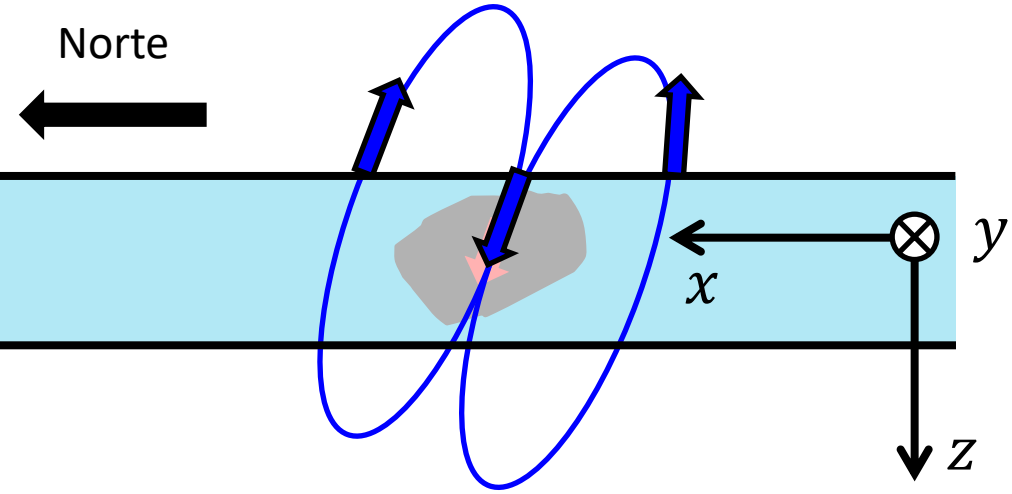
$F_i \gg B_i$

Campo crustal

$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$

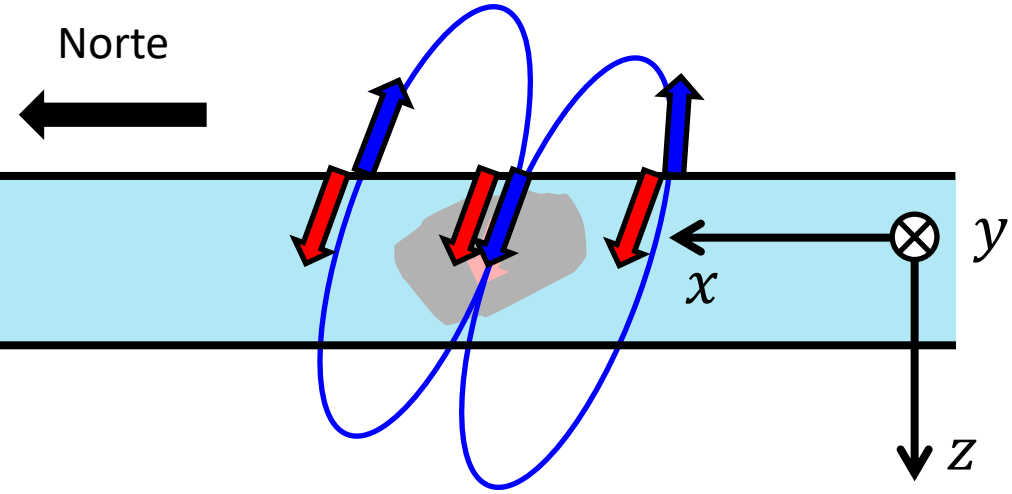
$F_i \gg B_i$

Campo crustal

$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$

$F_i \gg B_i$

Campo crustal

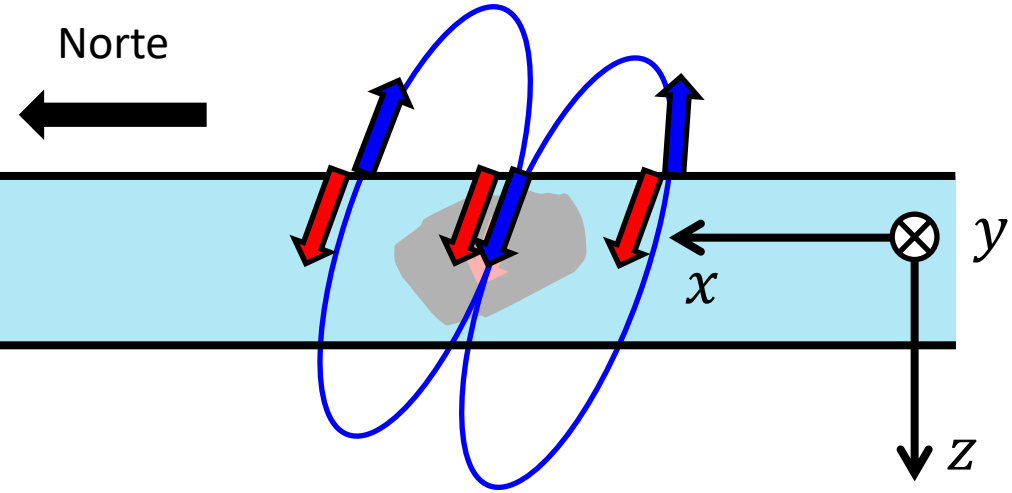
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

Campo total



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$

$F_i \gg B_i$

Campo crustal

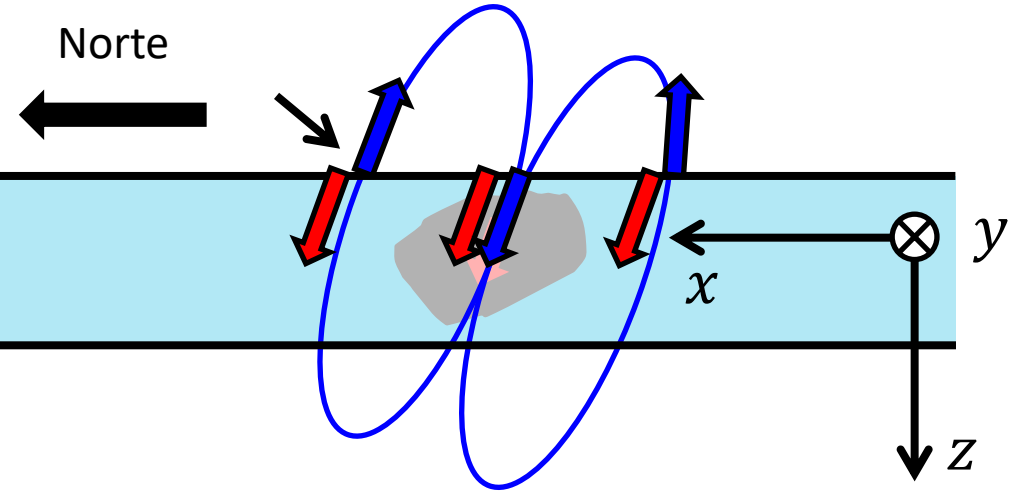
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

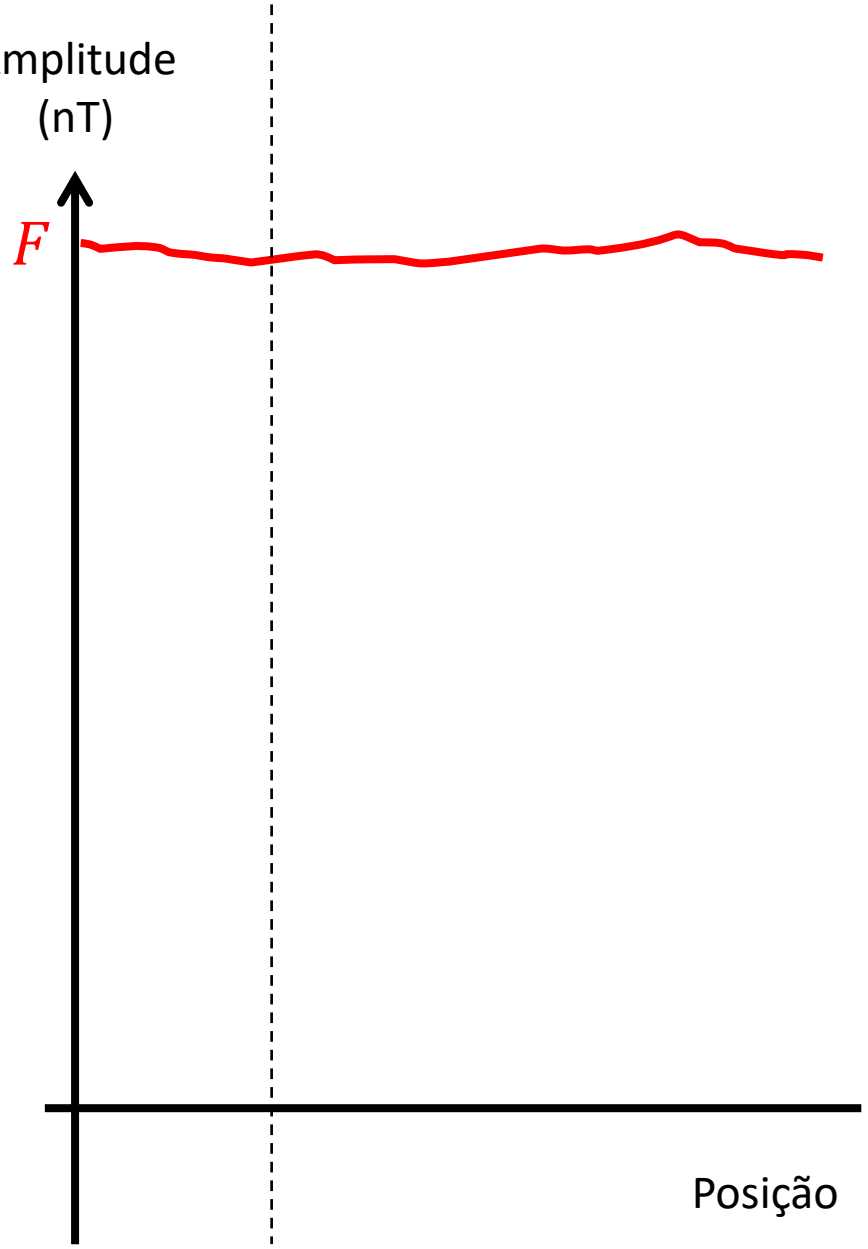
$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

Campo total



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

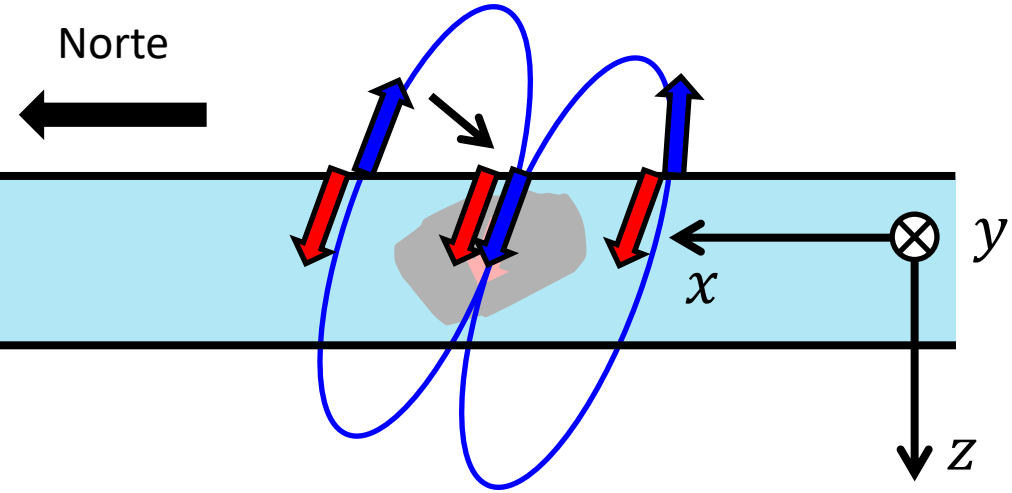
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

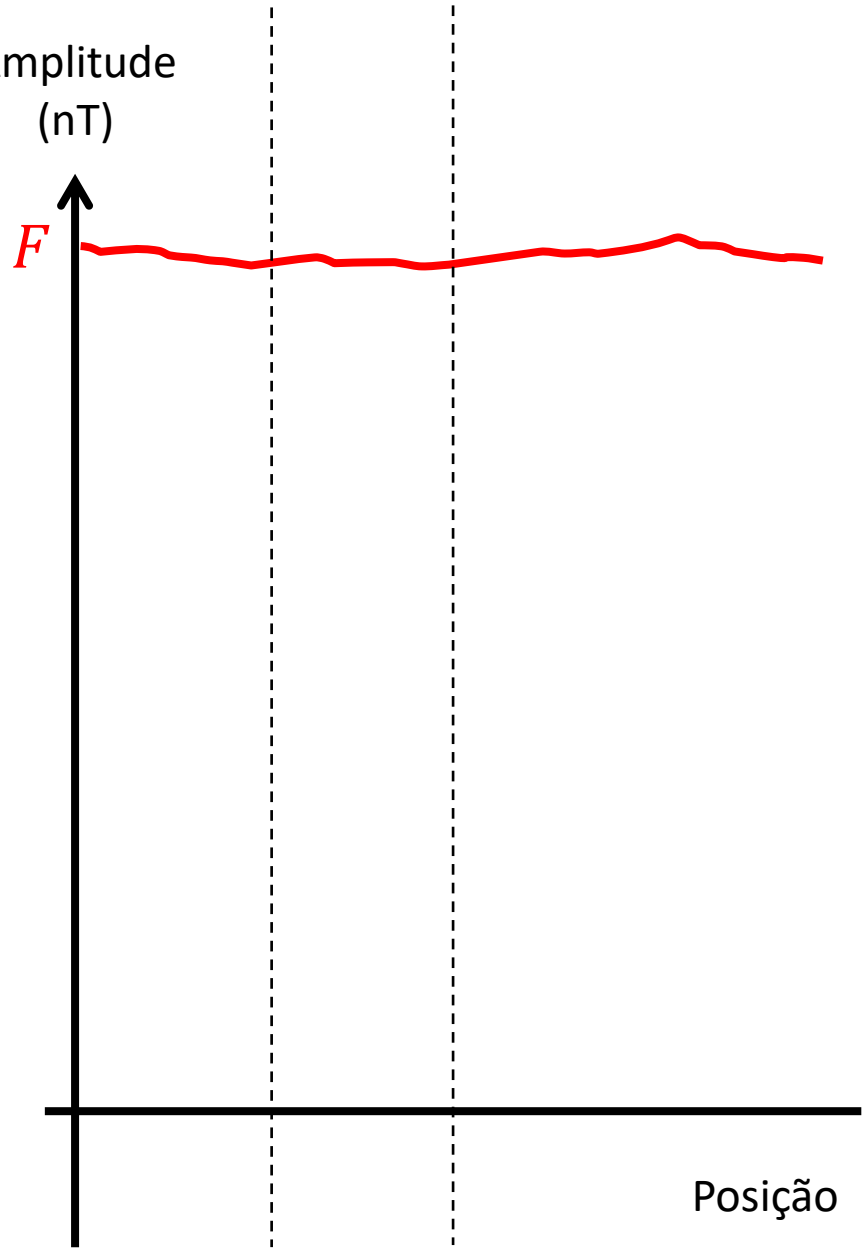
$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

Campo total



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

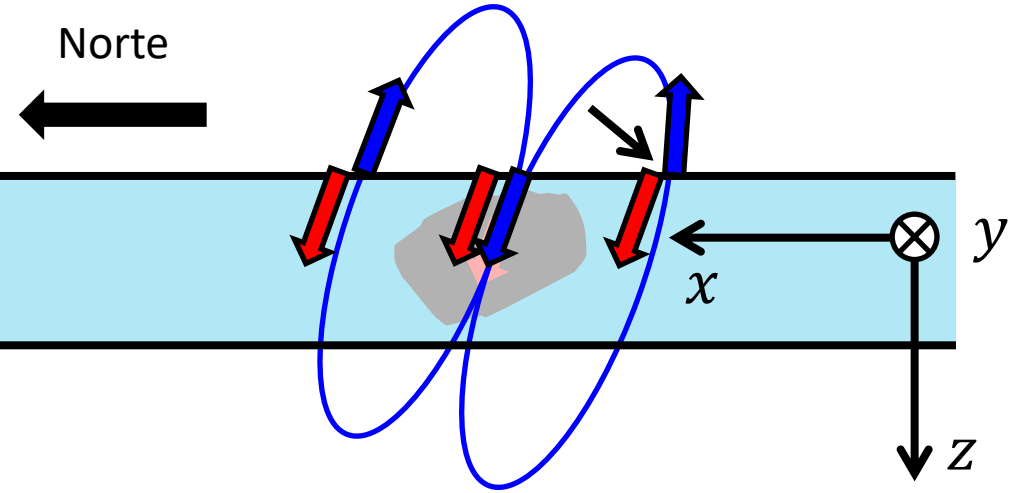
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

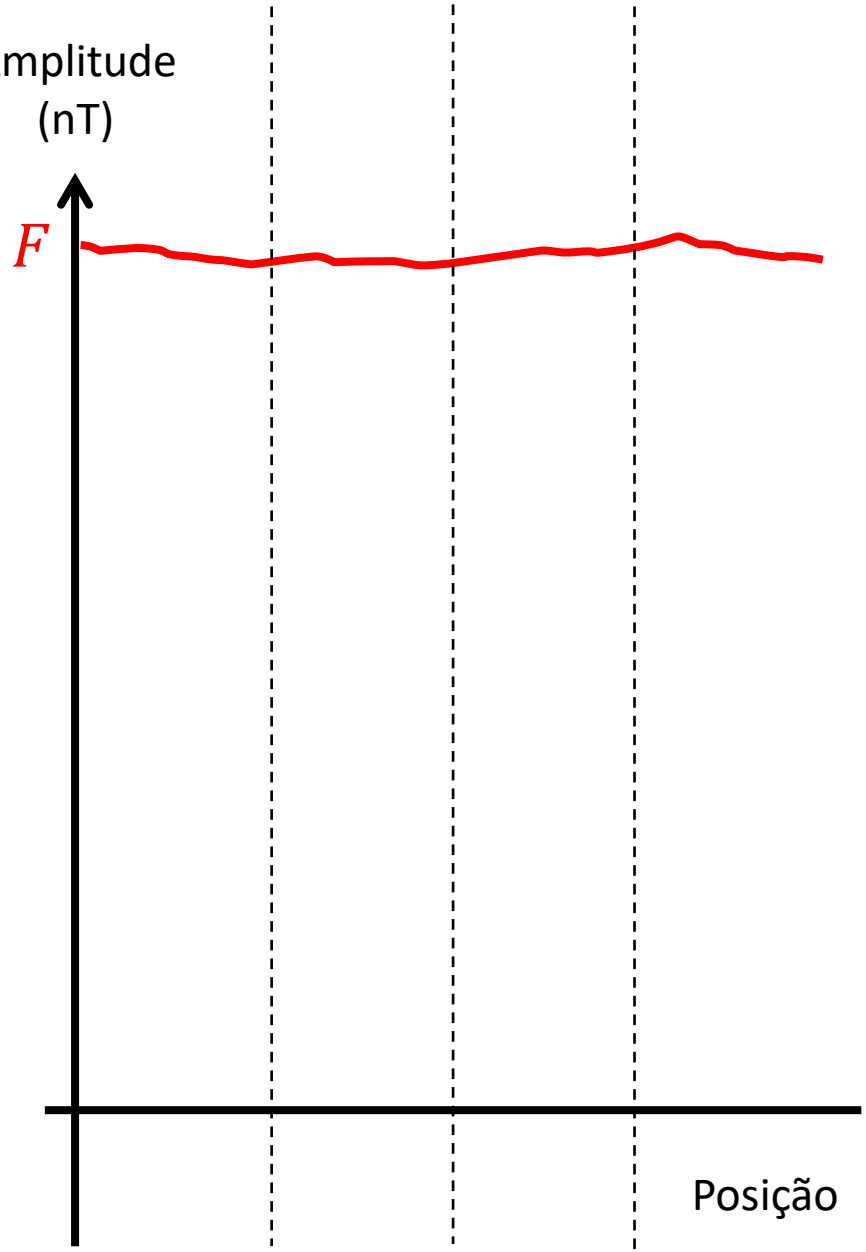
$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

Campo total



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

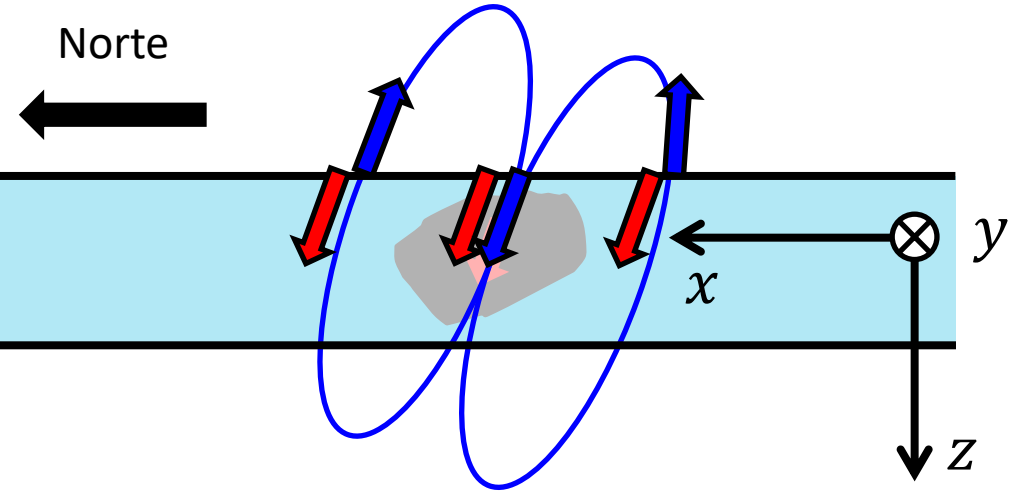
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

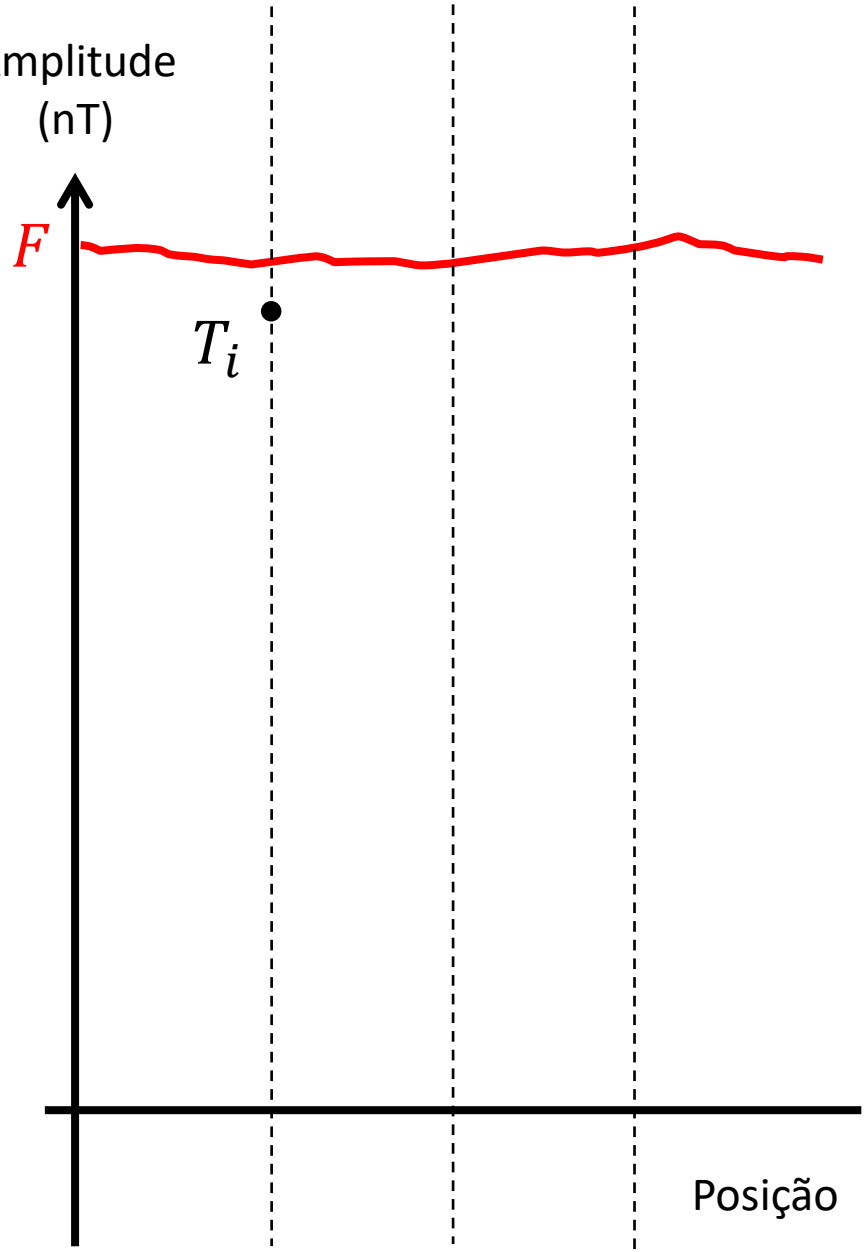
$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

Campo total



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

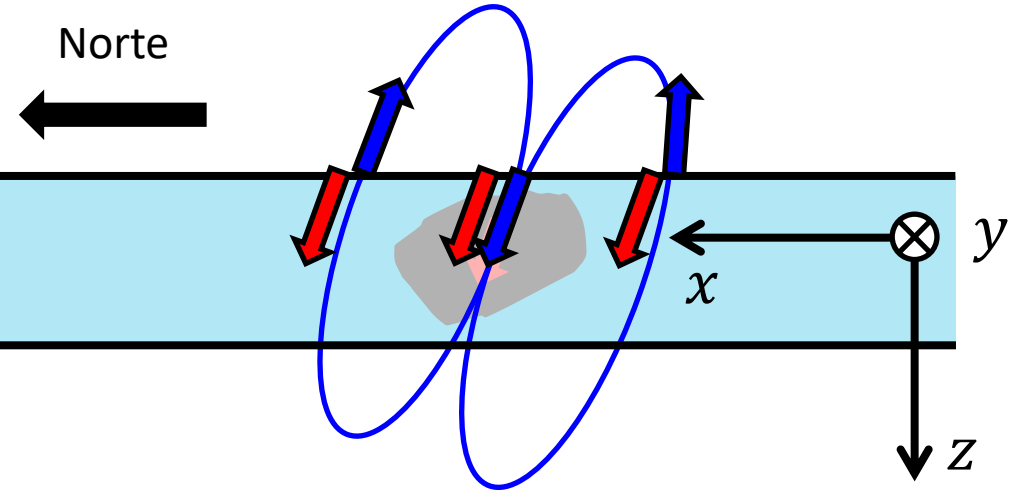
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

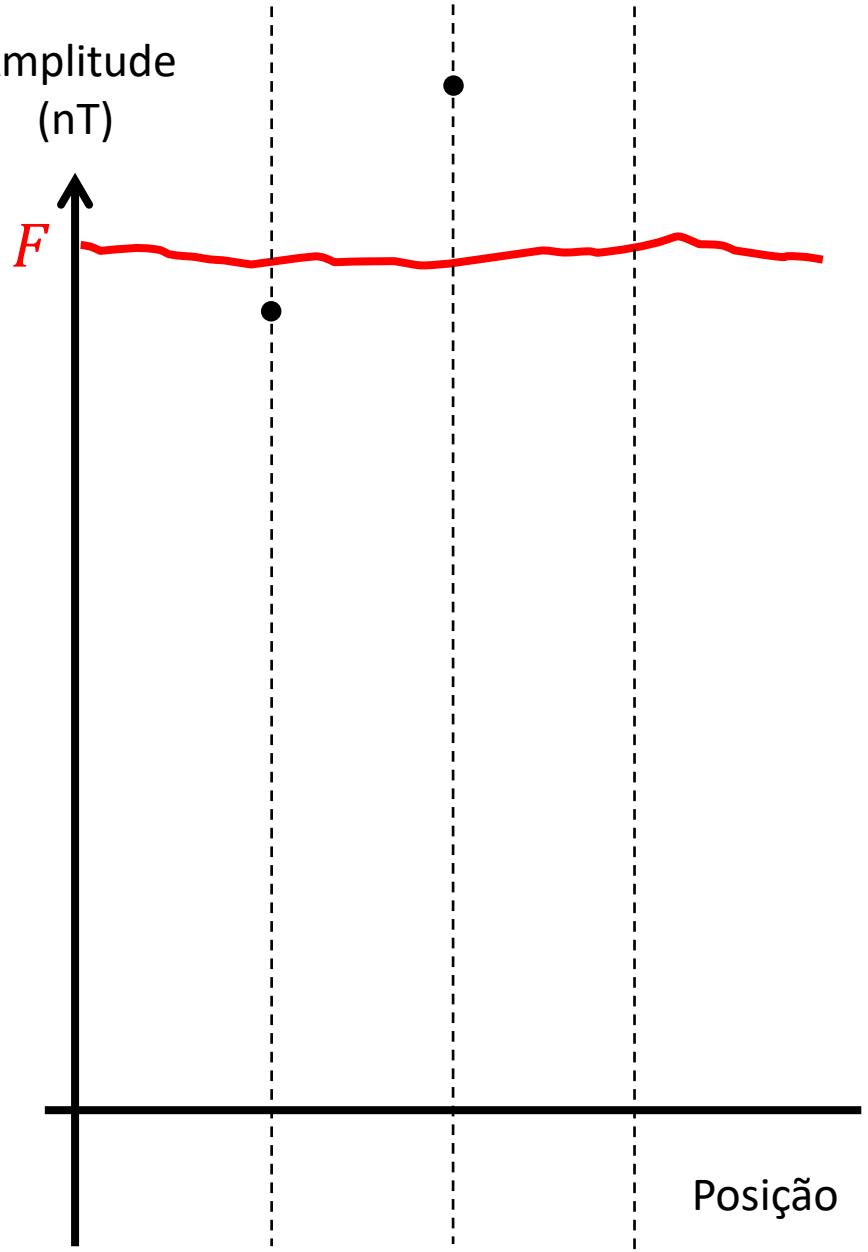
$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

Campo total



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

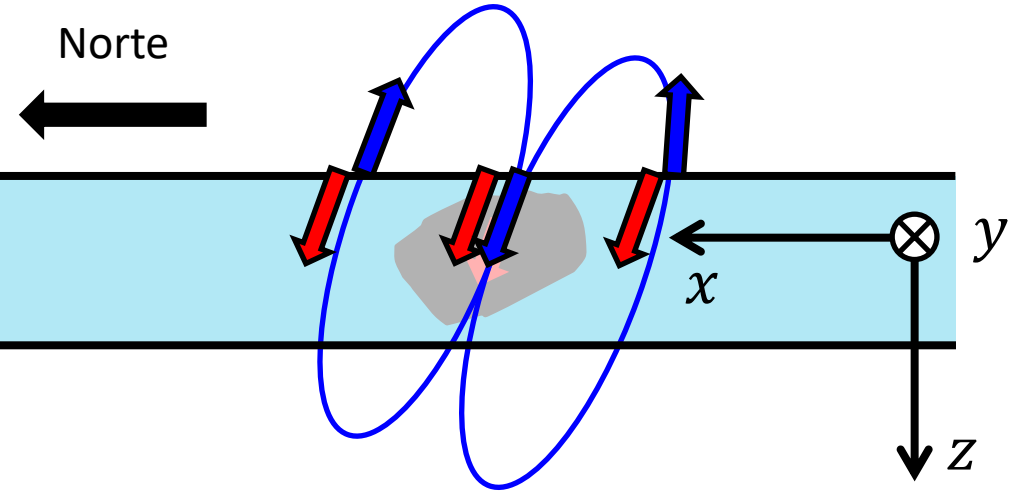
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

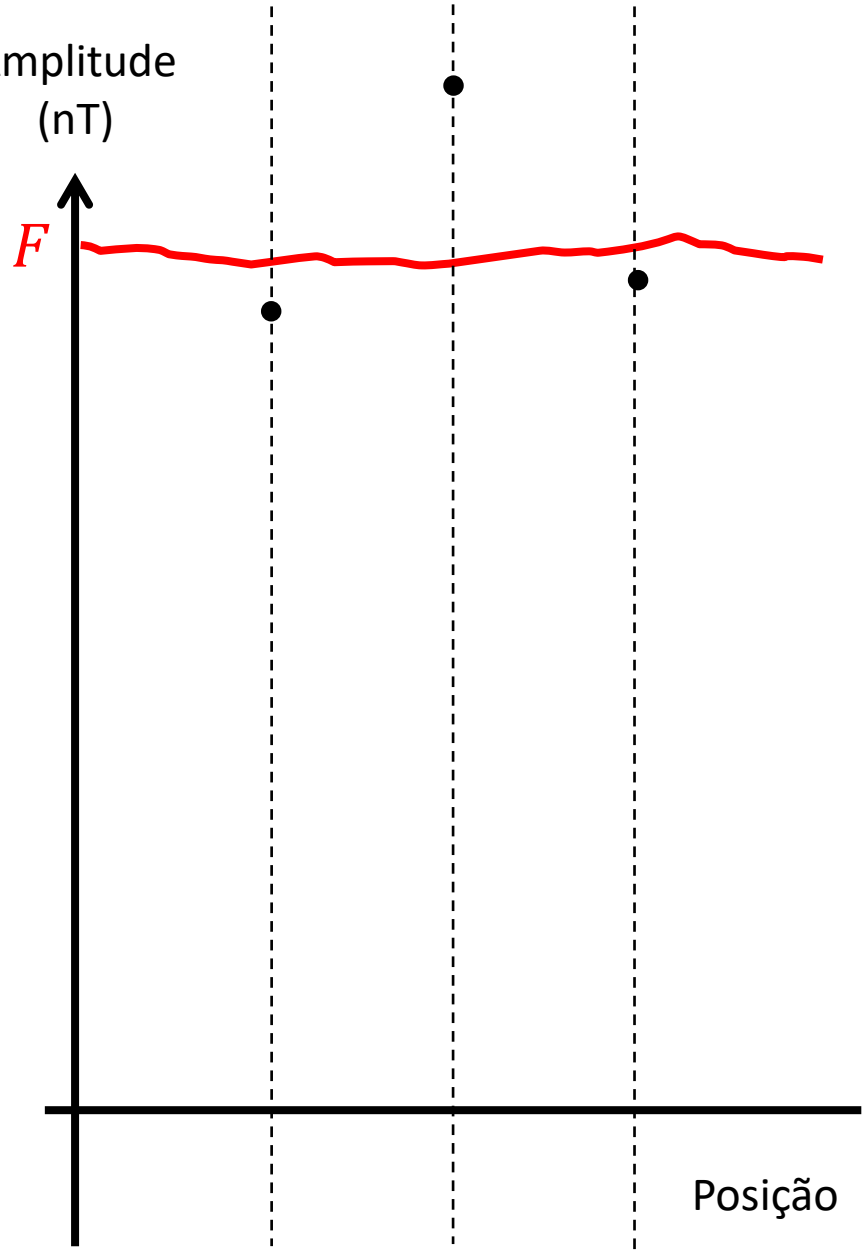
$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

Campo total



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

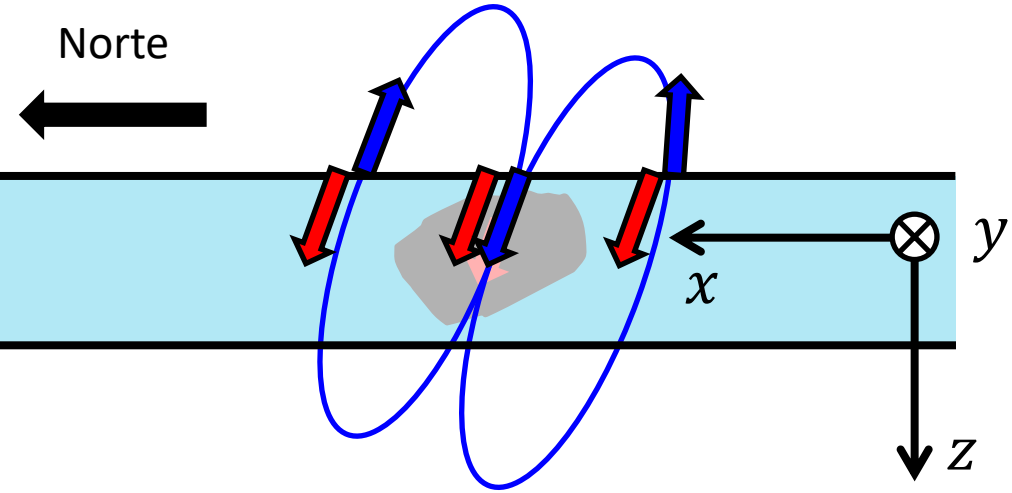
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

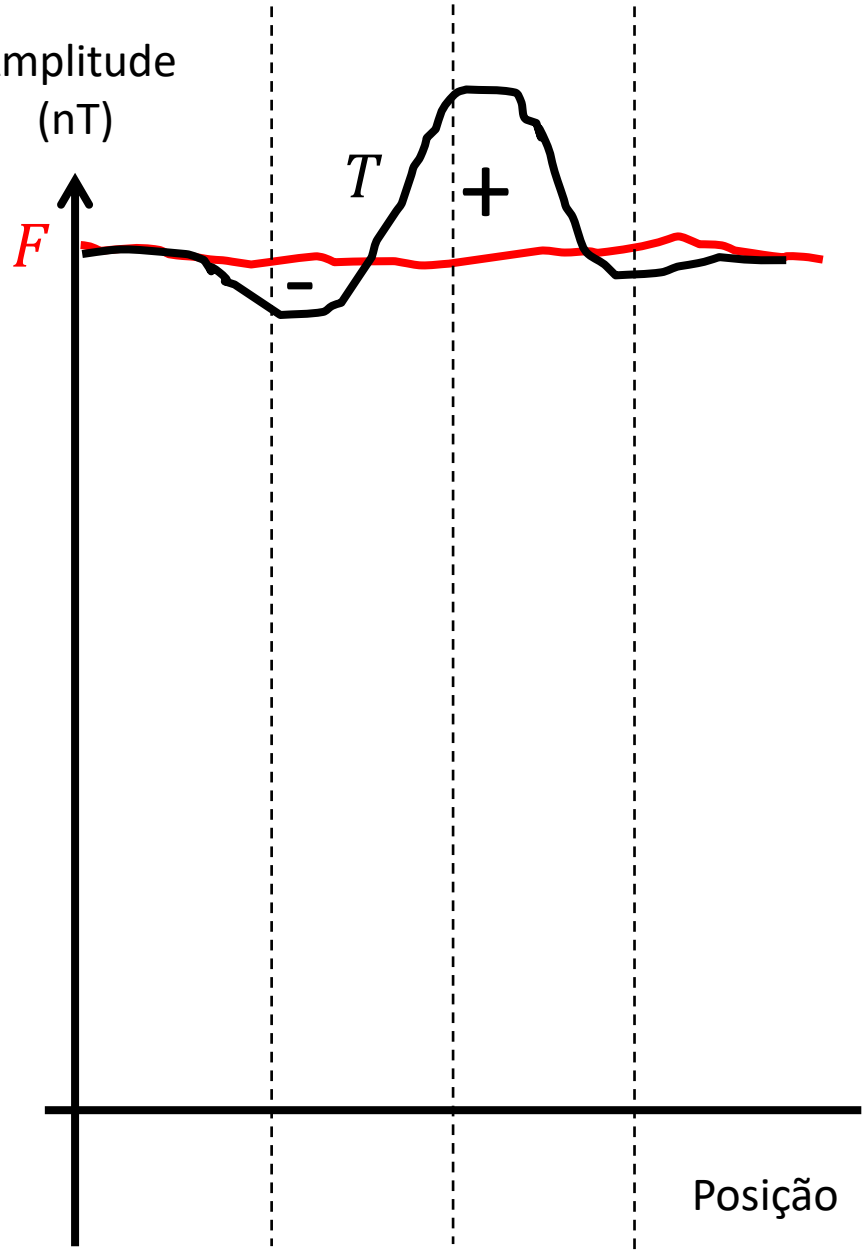
$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

Campo total



Considere que o corpo esteja magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}$



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

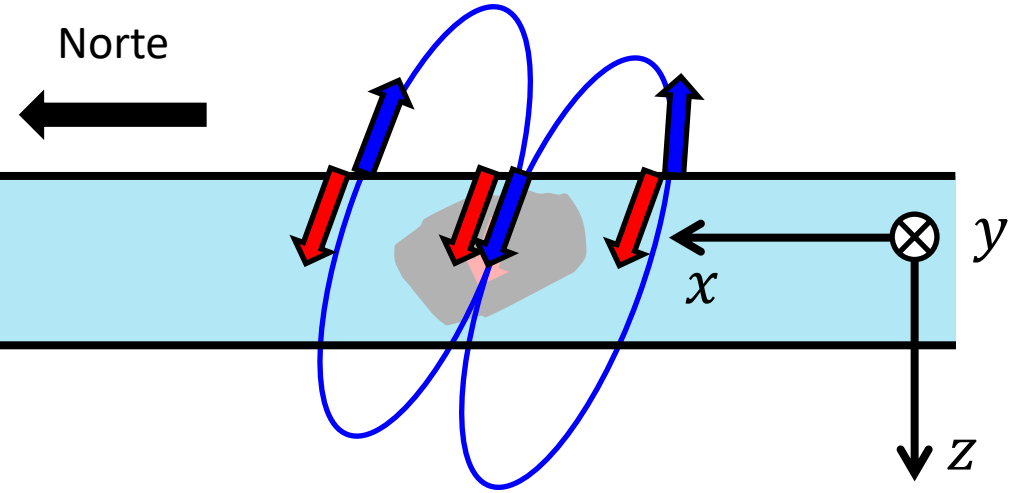
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

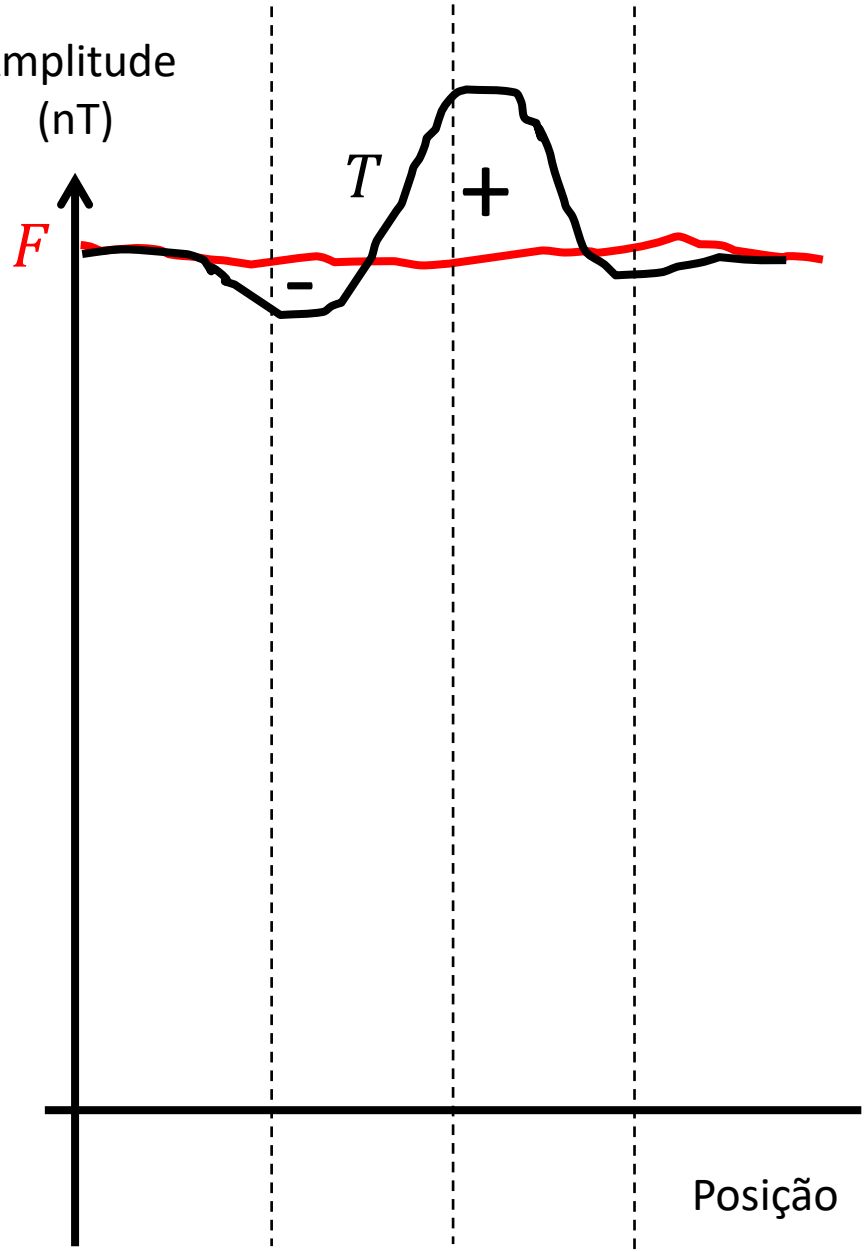
Campo total



$\Delta T_i = T_i - F_i$

Anomalia de campo total

Diferença entre a amplitude do campo total e a amplitude do campo principal no mesmo ponto



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

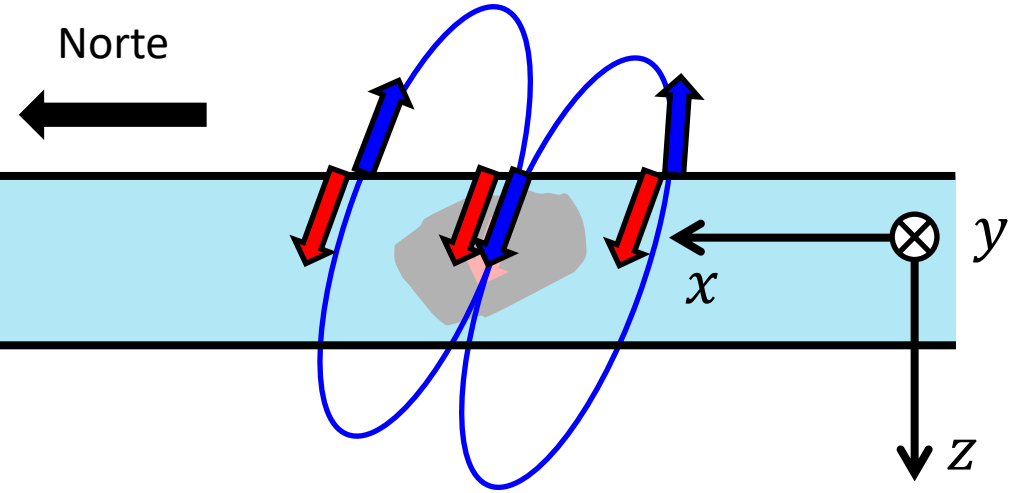
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

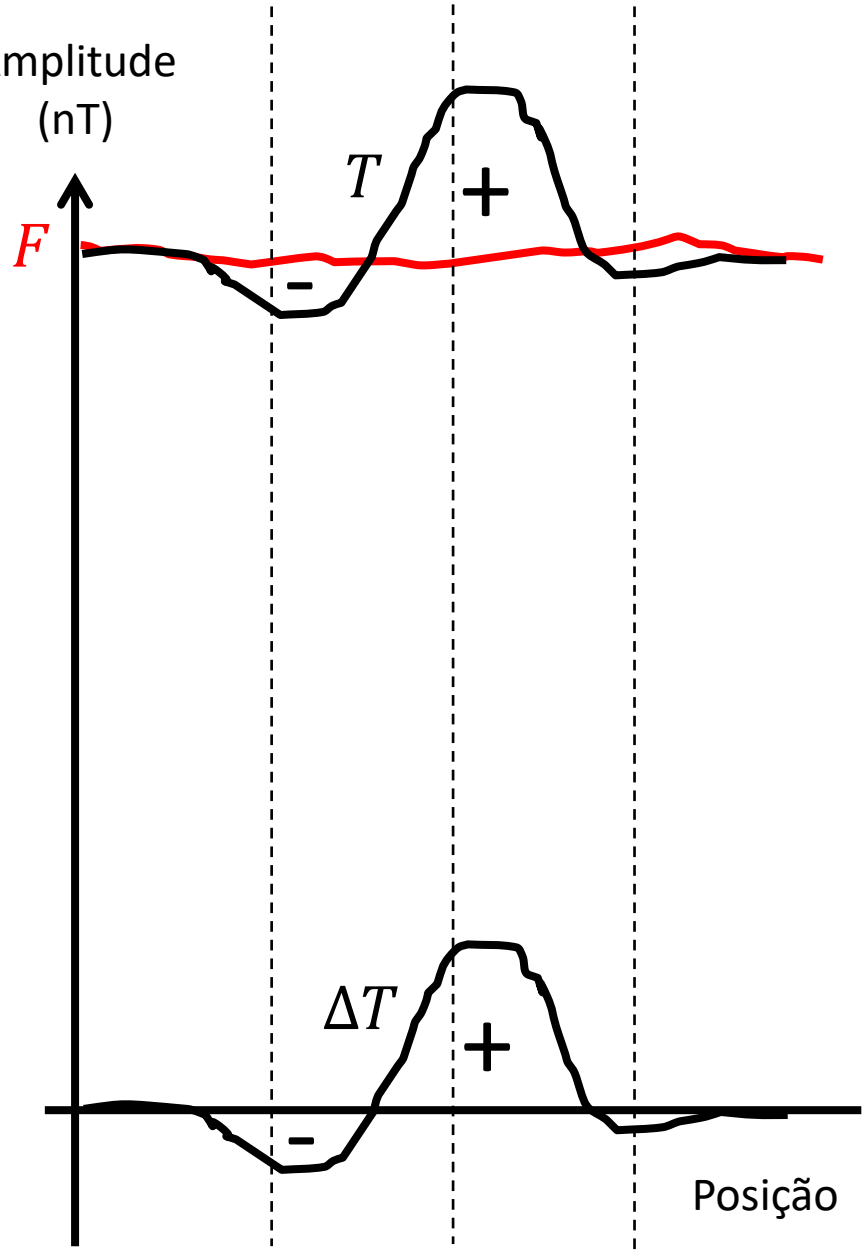
Campo total



$\Delta T_i = T_i - F_i$

Anomalia de campo total

Diferença entre a amplitude do campo total e a amplitude do campo principal no mesmo ponto



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

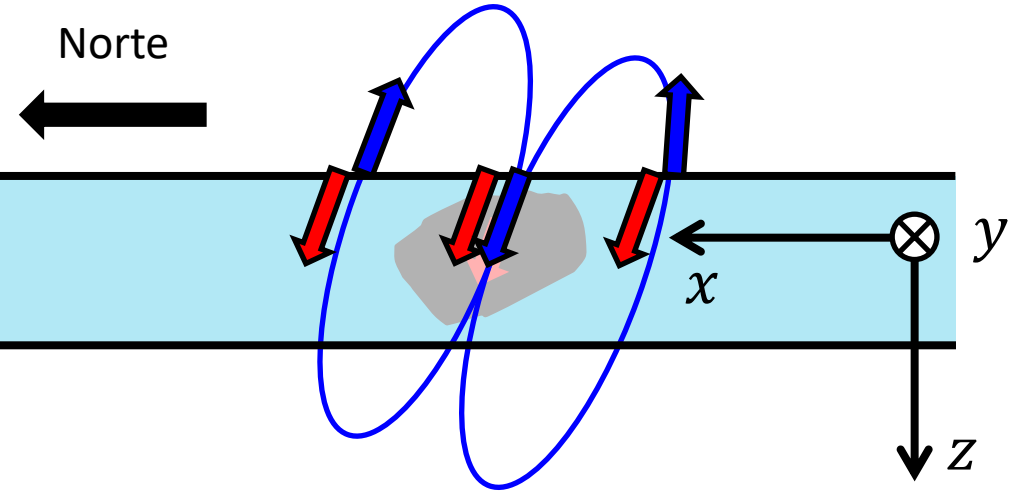
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

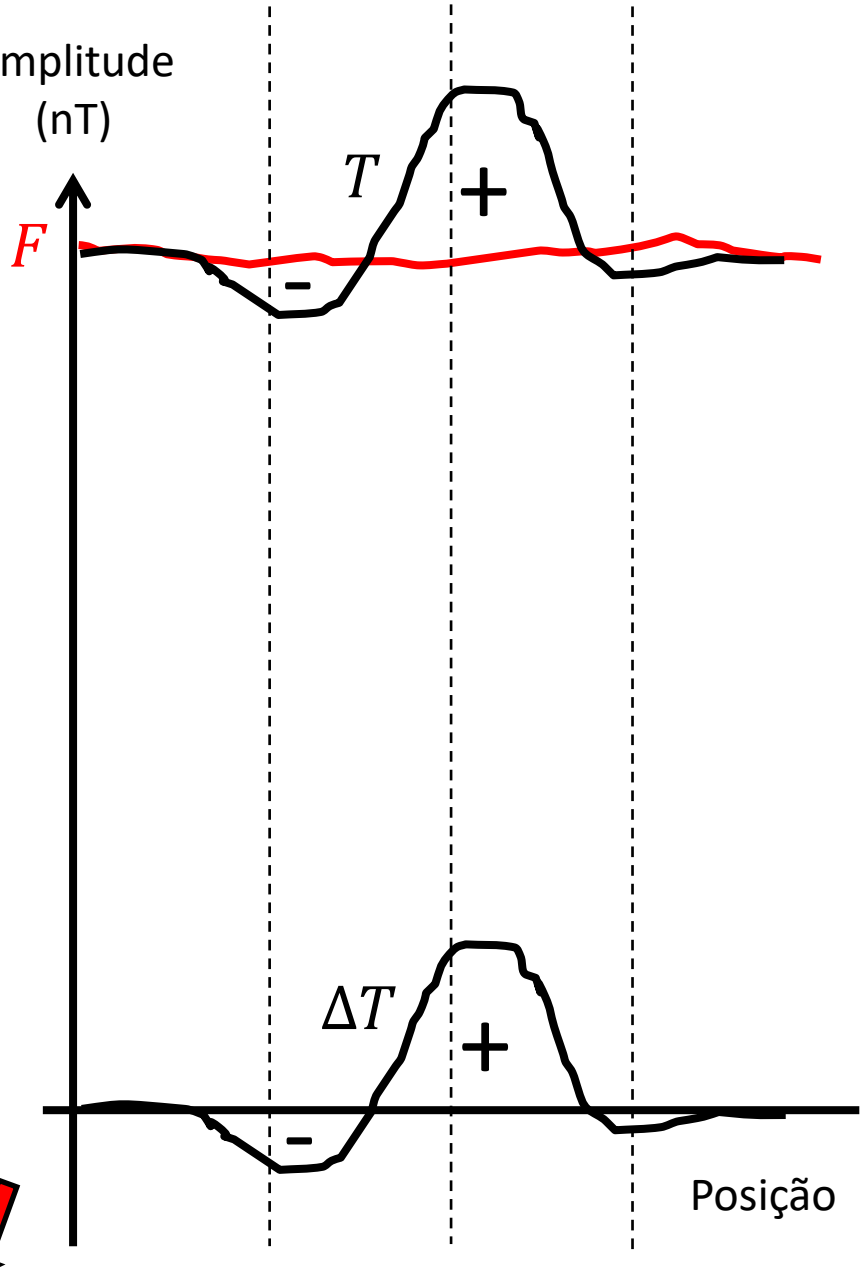
Campo total



$\Delta T_i = T_i - F_i$

Anomalia de campo total

Observe que esta representação esquemática foi feita considerando que o corpo está magnetizado na mesma direção de $\hat{\mathbf{F}}_i$



$F_i \gg B_i$

Campo crustal

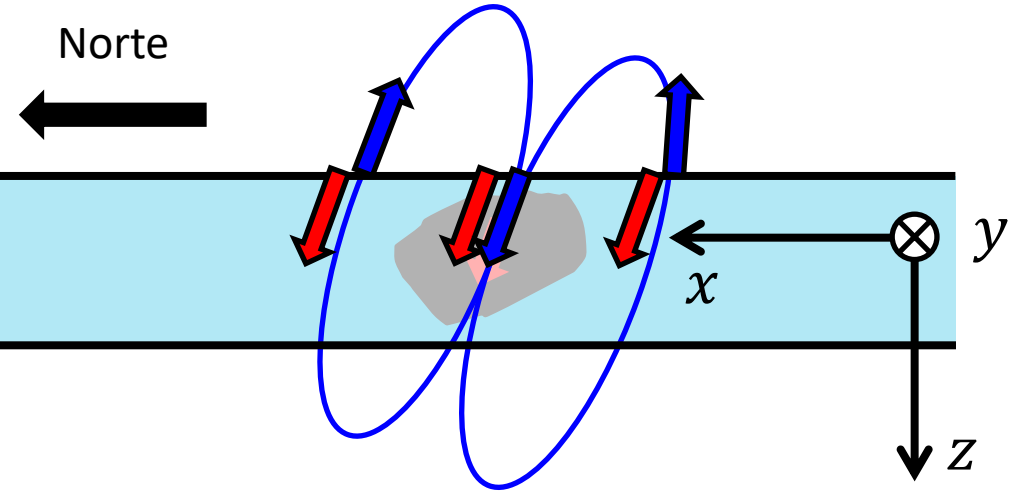
$\mathbf{B}_i = B_i \hat{\mathbf{B}}_i$

Campo principal

$\mathbf{F}_i = F_i \hat{\mathbf{F}}_i$

$\mathbf{T}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{B}_i$

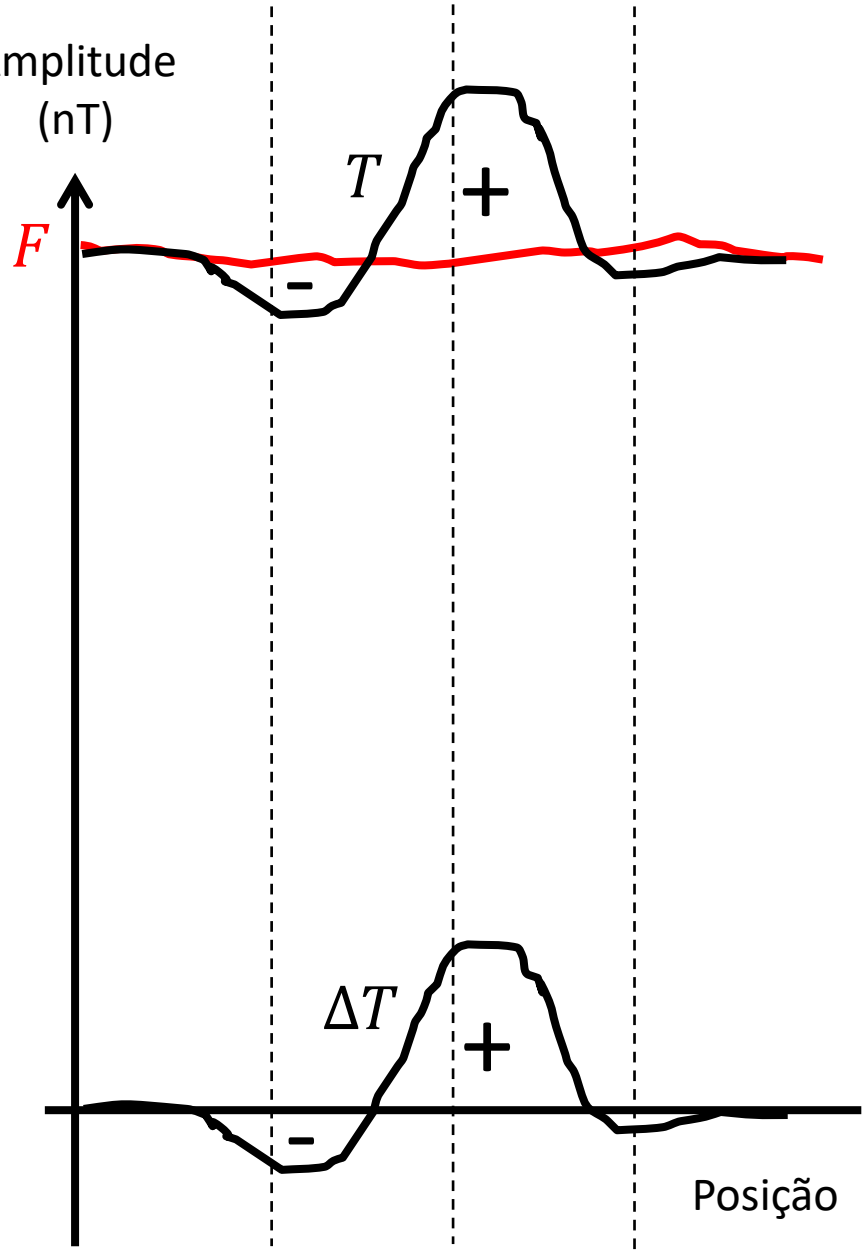
Campo total

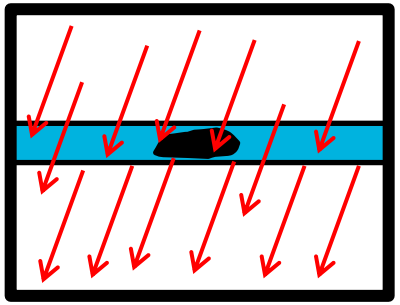


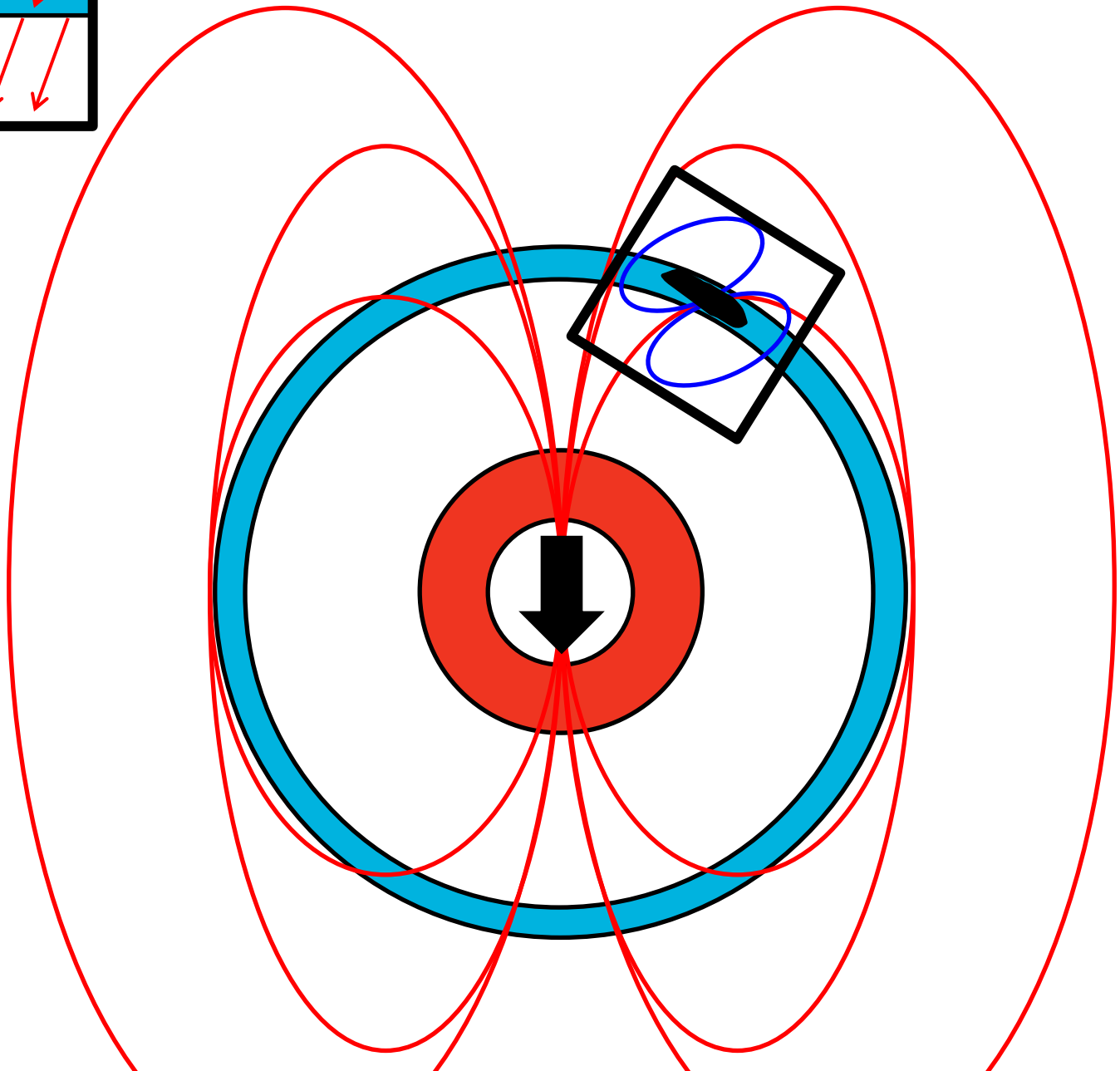
$\Delta T_i = T_i - F_i$

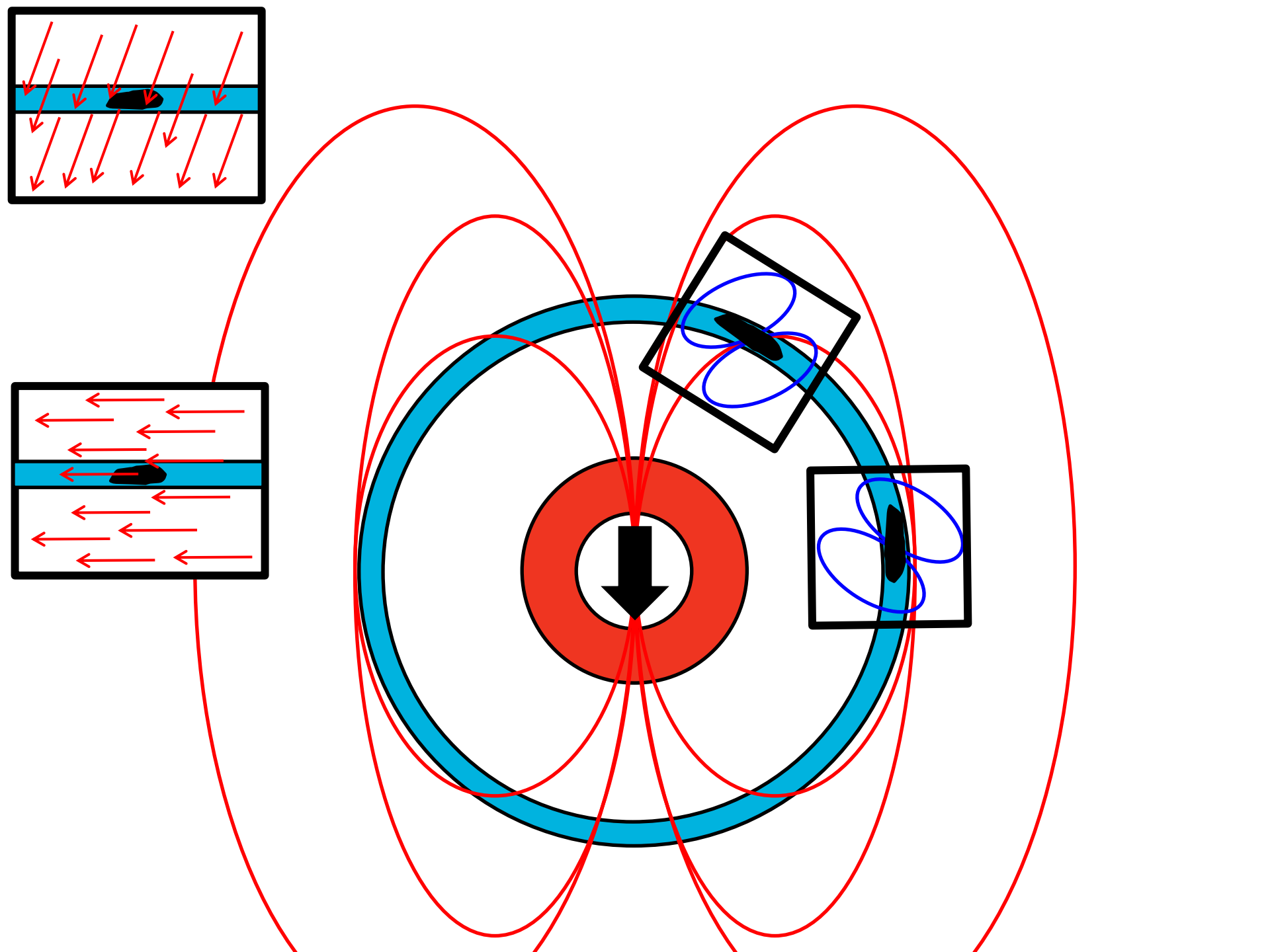
Anomalia de campo total

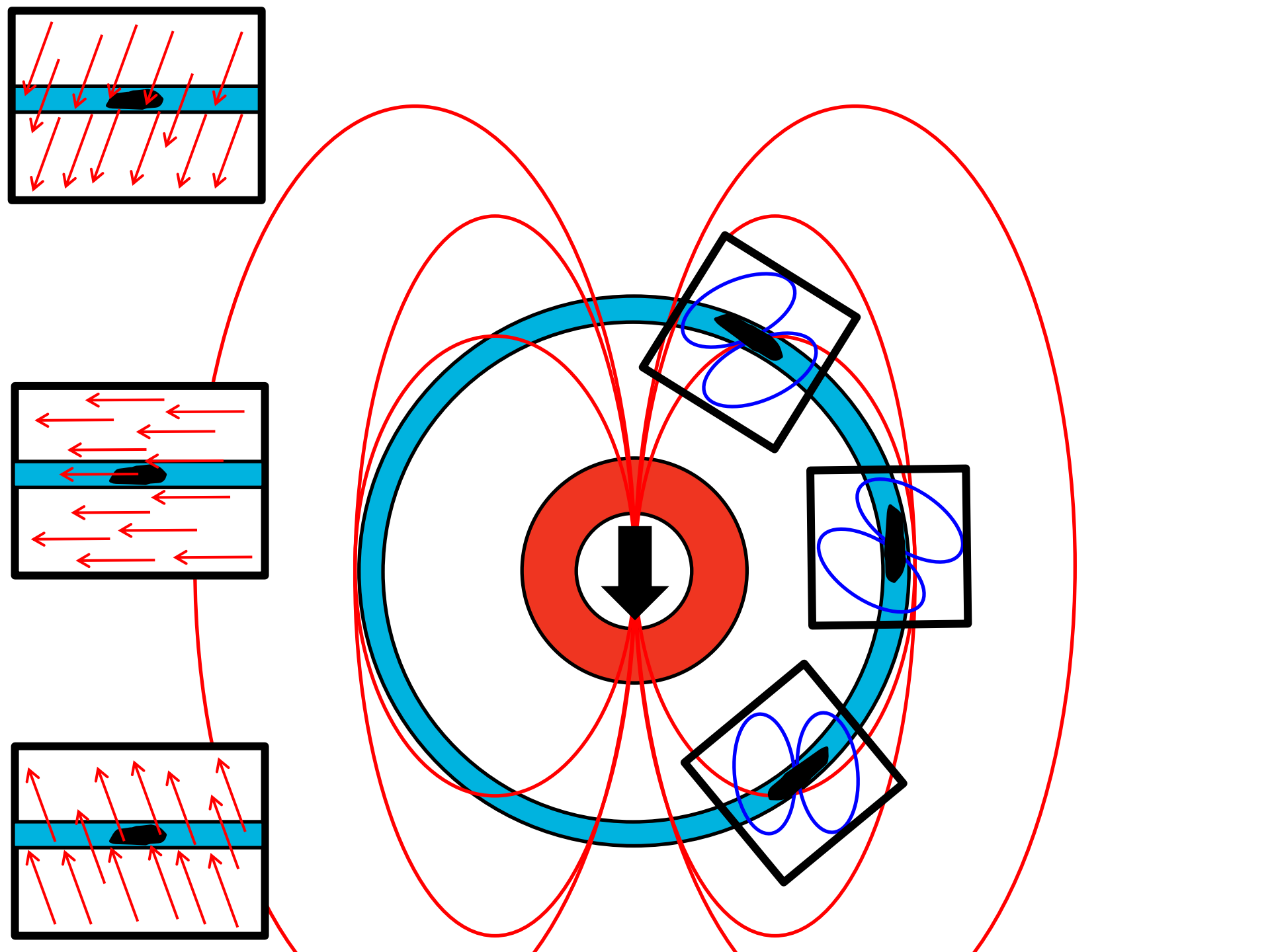
Além disso, é importante lembrar que este exemplo representa um corpo localizado no **hemisfério norte**



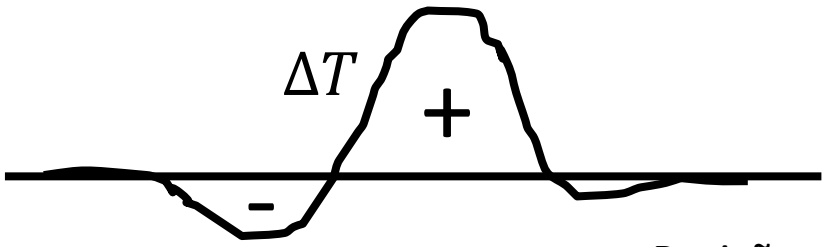


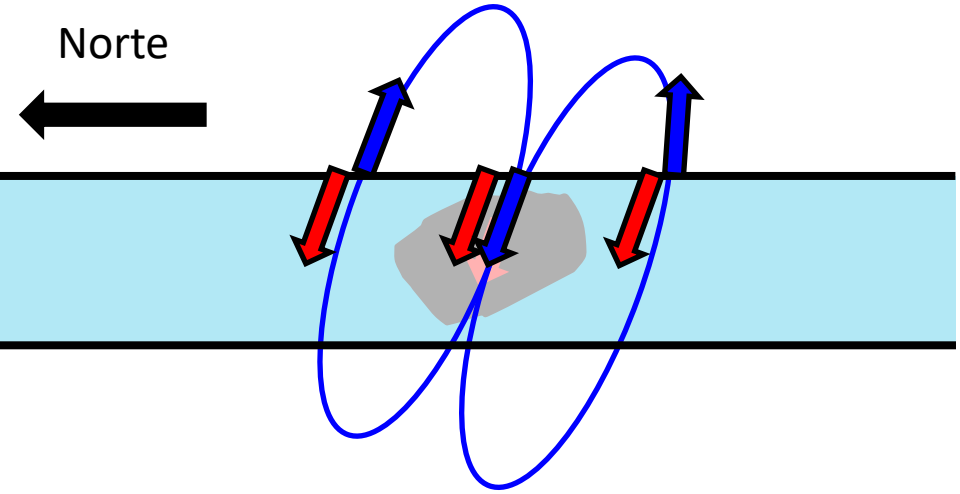




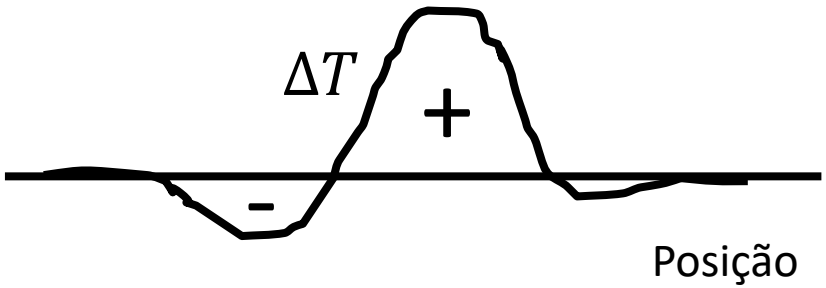


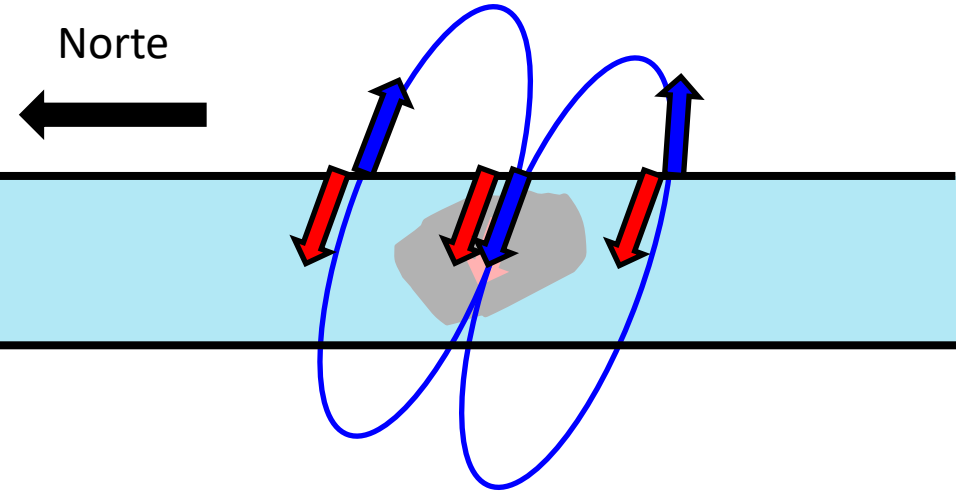
Hemisfério norte



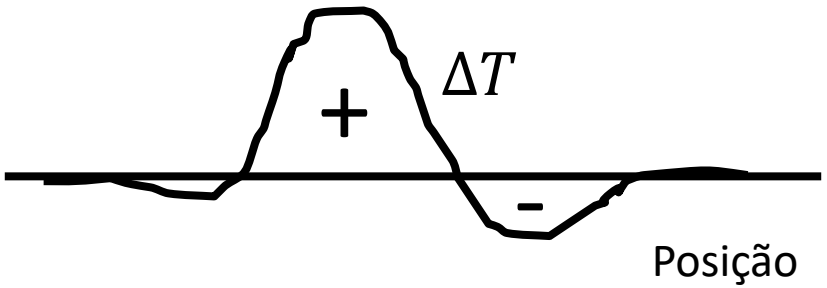


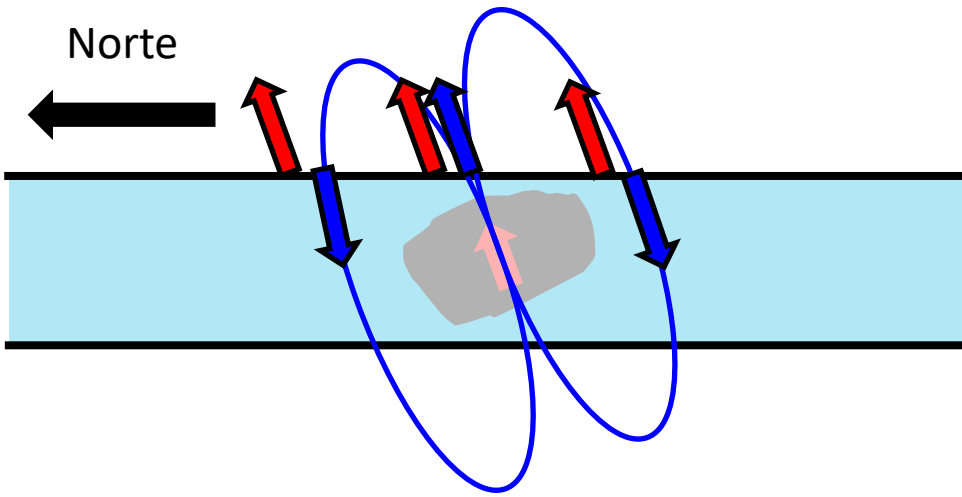
Hemisfério norte

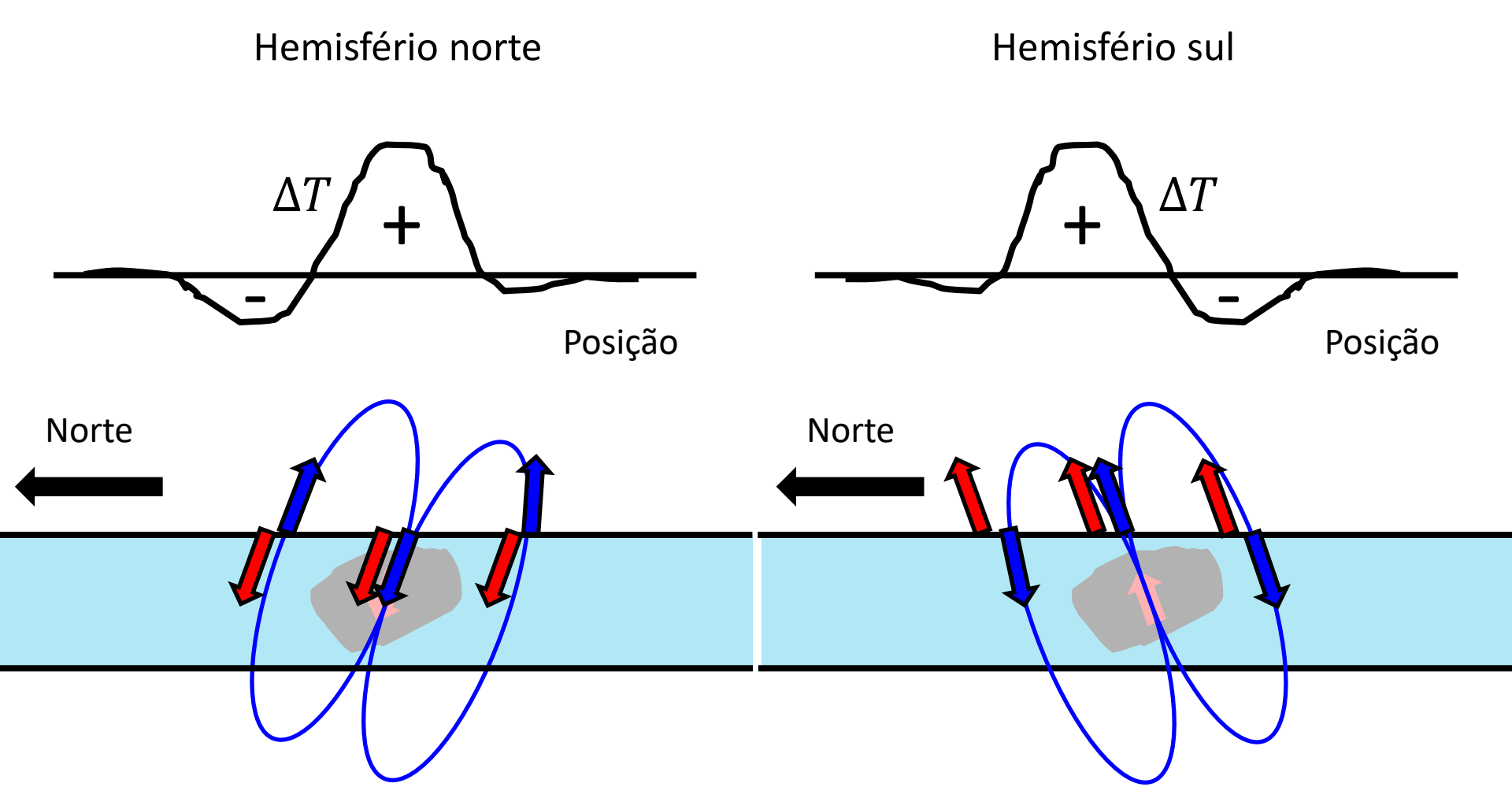




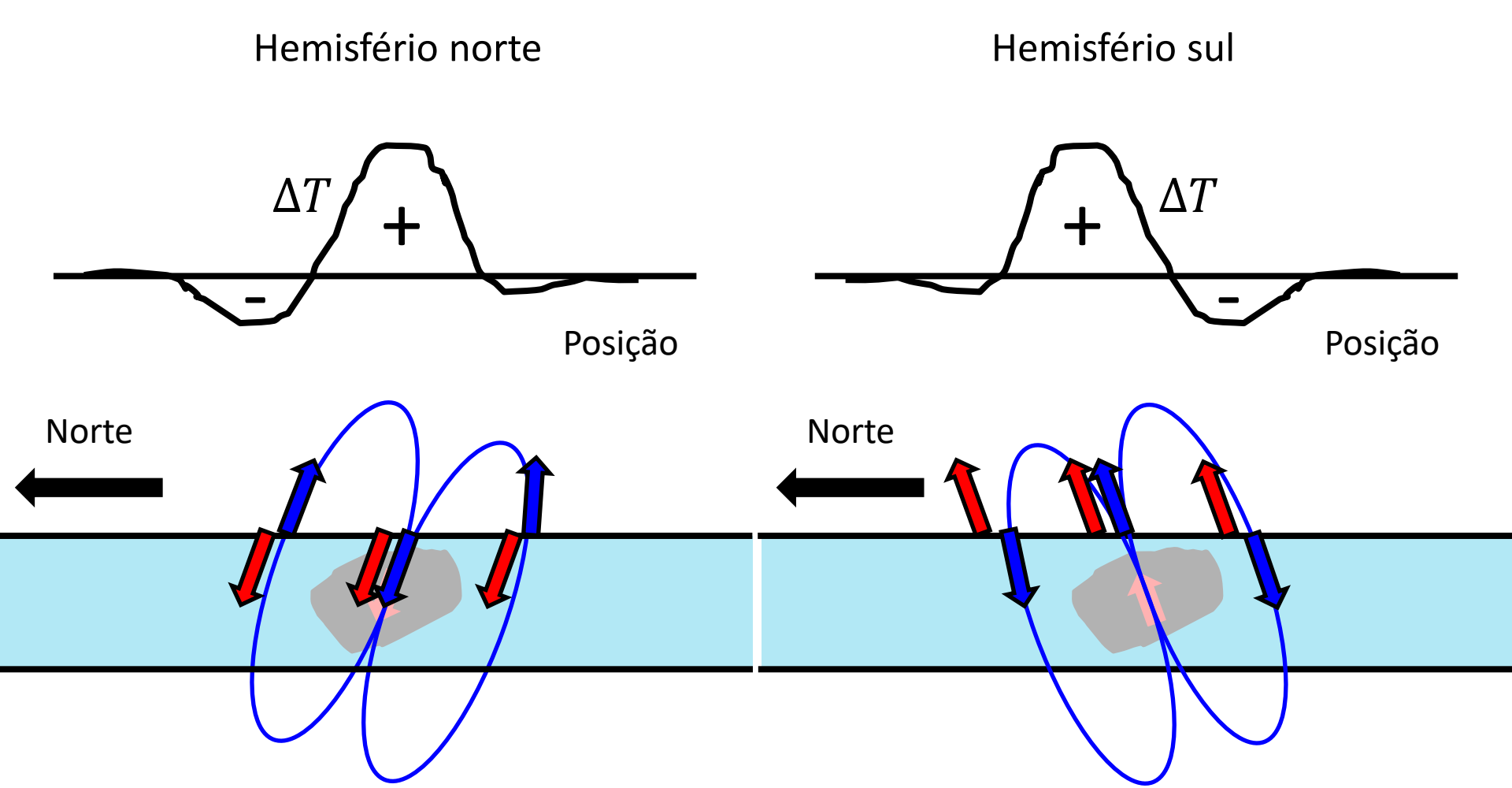
Hemisfério sul







Este padrão é válido apenas para anomalias de campo total produzidas por corpos com magnetização na mesma direção do campo principal



Como seria a anomalia de campo total produzida por um corpo localizado no polo norte e com magnetização na mesma direção do campo principal?
E se o corpo estivesse no polo sul?

Referências

- Blakely, R. J., 1996, Potential theory in gravity and magnetic applications: Cambridge University Press.
- Hulot, G., Sabaka, T., Olsen, N., e Fournier, A., 2015, 5.02 - the present and future geomagnetic field, *in* Treatise on Geophysics, second edition ed.: Elsevier, 33-78. doi: 10.1016/B978-0-444-53802-4.00096-8.
- Langel, R. A., e Hinze, W. J., 1998, The magnetic eld of the earth's lithosphere: The satellite perspective: Cambridge University Press.
- Nabighian, M. N., Grauch, V. J. S., Hansen, R. O., LaFehr, T. R., Li, Y., Peirce, J. W., Phillips, J. D., e Ruder, M. E., 2005, The historical development of the magnetic method in exploration: GEOPHYSICS, 70, 33ND-61ND.