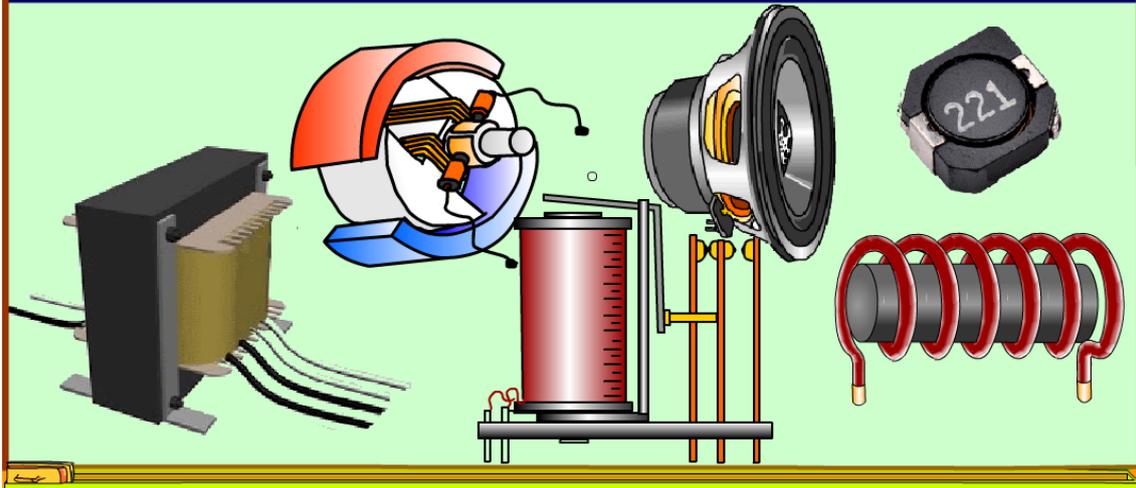


## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.



## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.



The image shows a screenshot of the website [www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com). The website header includes the logo and text: "bairrospd BAIROS PROJETOS DIDÁTICOS E ELETRÔNICOS". Below the header, there is a green banner that says "ESTUDE ELETRÔNICA NO SITE WWW.BAIROSPD.COM!". The main content area features a navigation menu with options like "HOME", "Cursos", "Relatório", "Tutoriais", "Você Sabia", and "Contato". A prominent yellow banner reads "APRENDA A LER RESISTORES" and is accompanied by a cartoon illustration of a man working with a resistor. To the right, there is a search bar and a section titled "O QUE SIGNIFICA GASTAR ENERGIA ELÉTRICA: Uma questão de Potência." Below this, there is a blue banner that says "AULAS OU ACESSORIA COM O ENGENHEIRO E PROFESSOR ROBERTO BAIROS?" and a "CLIQUE AQUI!" button.

**VISITE  
O NOSSO  
SITE e  
CANAL  
YOUTUBE**

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)  
Professor Bairros

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

[https://www.youtube.com/channel/UC\\_tfxnYdBh4IbiR9twtpPA](https://www.youtube.com/channel/UC_tfxnYdBh4IbiR9twtpPA)

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ EM O PDF E MUITO MAIS.  
PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE.

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

Professor Bairros  
[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

**Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.**

## Sumário

1	Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.....	3
1.1	Introdução.....	5
1.2	Lei de Ampère. ....	10
1.3	Efeito do núcleo na bobina.....	16
1.4	Indução magnética.....	20
1.5	Lei de Ampère e a indução magnética. ....	35
1.6	Fluxo Magnético.....	39
1.7	Relutância Magnética .....	62
1.8	O circuito magnético.....	68
1.9	Exemplo.....	75
1.10	Exemplo 2.....	86
1.11	Conclusão.....	90
1.12	Créditos.....	95

# 1 ELETROMAGNETISMO: LEI DE AMPÈRE E RELUTÂNCIA MAGNÉTICA.

Simmmm, eu sou o professor Bairros e no tutorial de hoje nós vamos ver....

Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

YOUTUBE: <https://youtu.be/3qekPGYvp1Y>

Vamos lá!



Figura 1

## **Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.**

Assuntos relacionados.

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ TEM O PDF E MUITO MAIS  
PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

eletromagnetismo, Lei de Ampère, relutância, campo magnético, campo indução magnética, fluxo magnético, relutância magnética, circuito magnético, força magneto motriz,

## 1.1 INTRODUÇÃO.

Estou inaugurando uma série de tutoriais falando sobre eletromagnetismo, um tópico obscuro para a maioria dos técnicos, mas muito importante.

Eu aqui não vou tentar traduzir a física desenvolvida por Faraday e Maxwell.

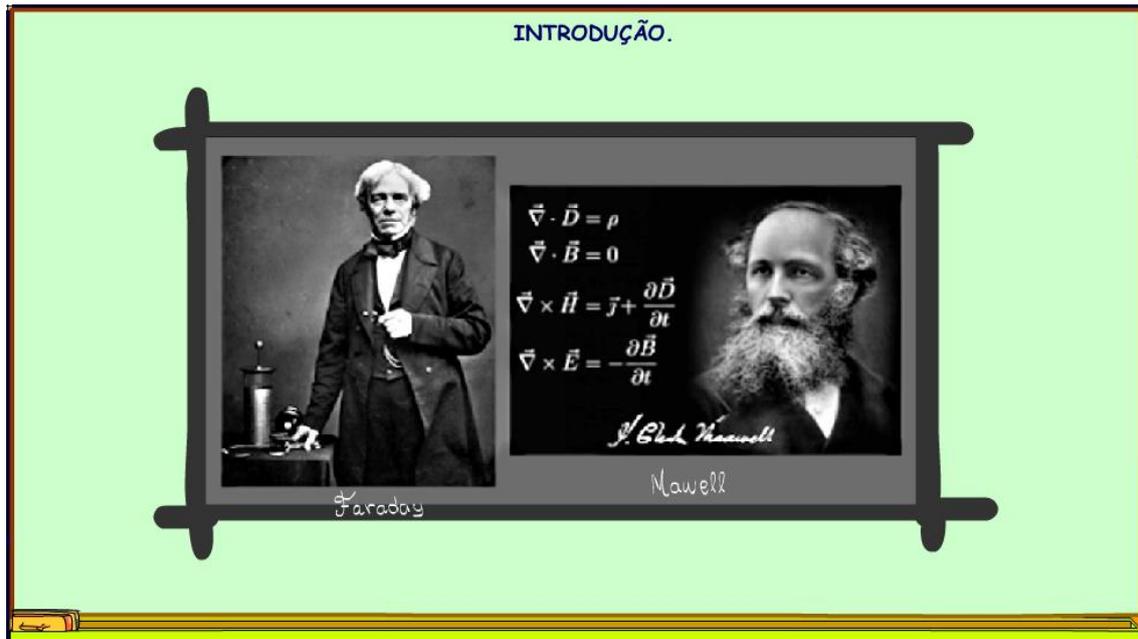


Figura 2

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Aqui vou concentrar as análises naquilo que é prático para o técnico eletrônico que vai trabalhar com solenóides, transformadores indutores.



Figura 3

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Na eletrônica e na elétrica o eletromagnetismo é aplicado a bobinas, que é nada mais nada menos do que um fio enrolado.

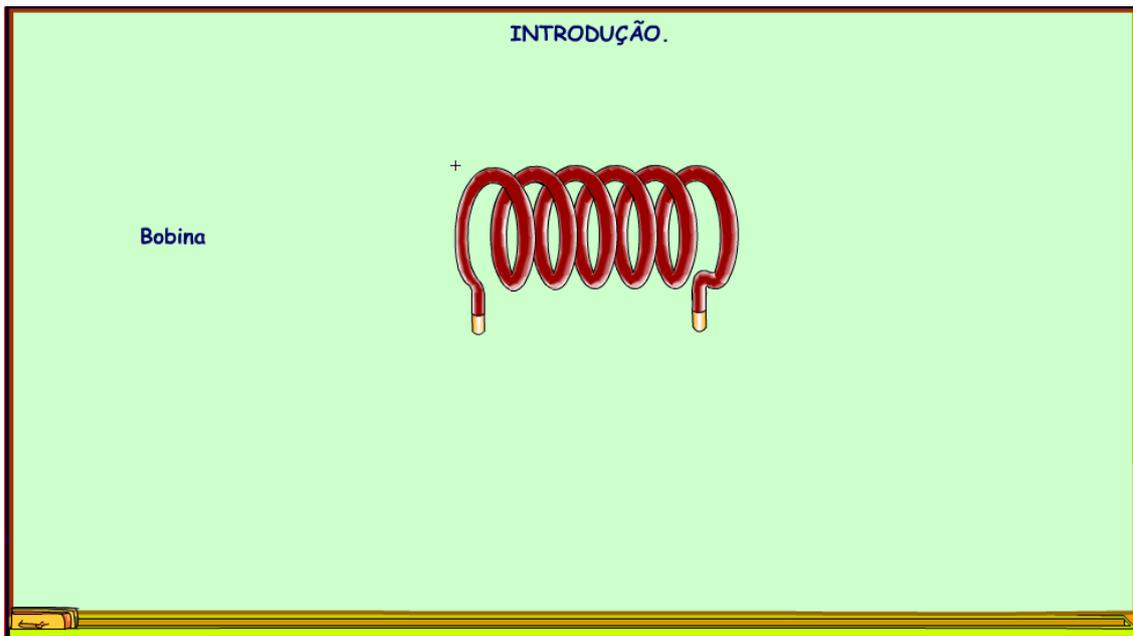


Figura 4

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Quando esse fio é percorrido por uma corrente, essa bobina gera ao seu redor um campo magnético "H".

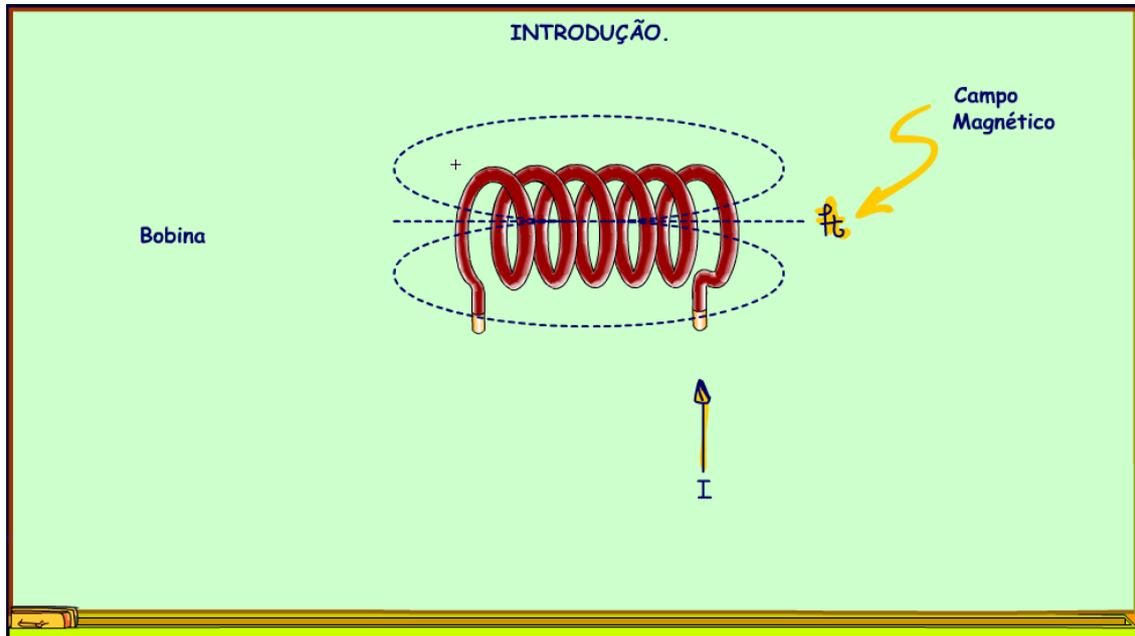


Figura 5

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O que eu vou mostrar é a relação entre a corrente “I” e o campo magnético “H” gerado na bobina.

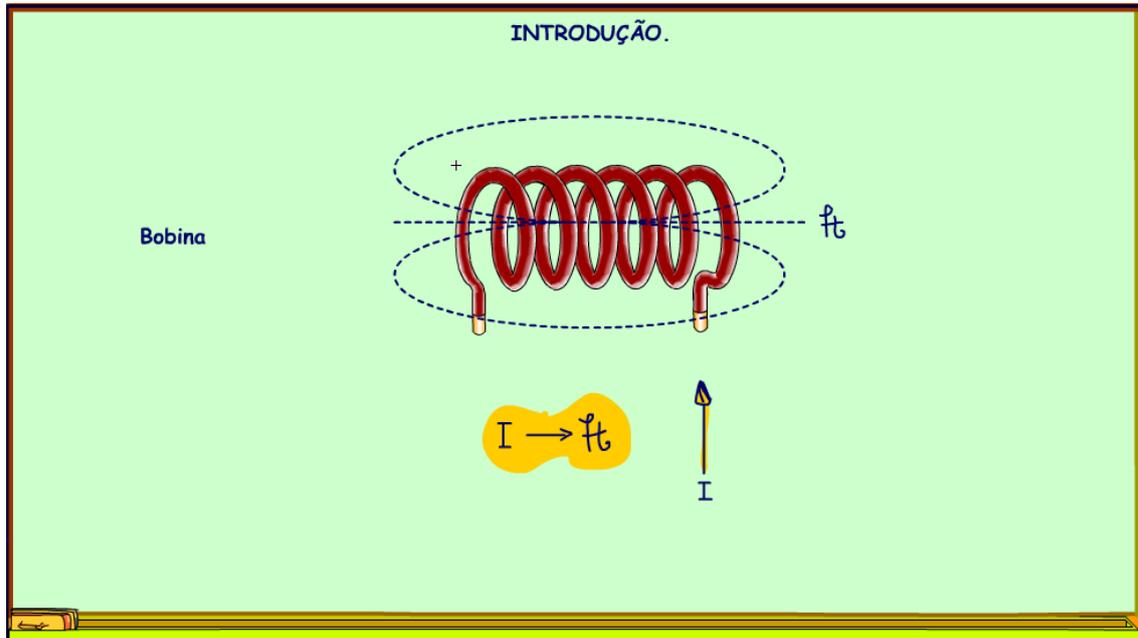


Figura 6

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

### 1.2 LEI DE AMPÈRE.

Essa relação é chamada de Lei de Ampère e é a primeira equação que você deve conhecer bem no eletromagnetismo.

A Lei de Ampère é uma das leis de Maxwell, descrita na figura.

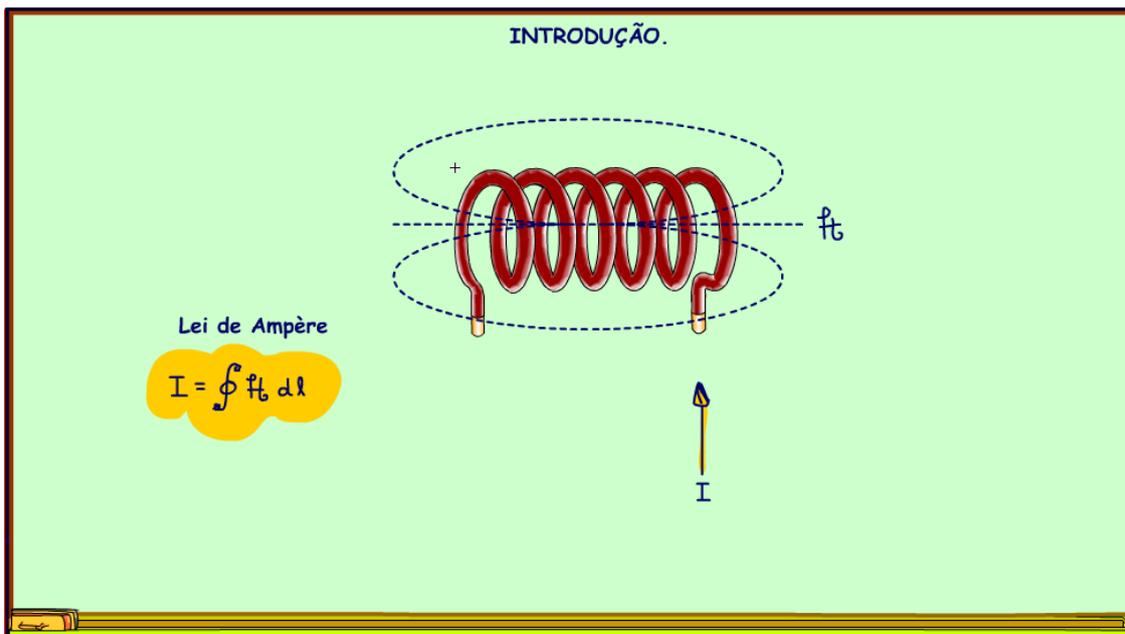


Figura 7

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Essa é uma equação complicada, envolve cálculo, mas para o mundo da eletrônica do nosso dia a dia, nas bobinas dos motores e televisores, onde as propagações eletromagnéticas podem ser desprezadas, ela pode ser simplificada para a equação da figura.

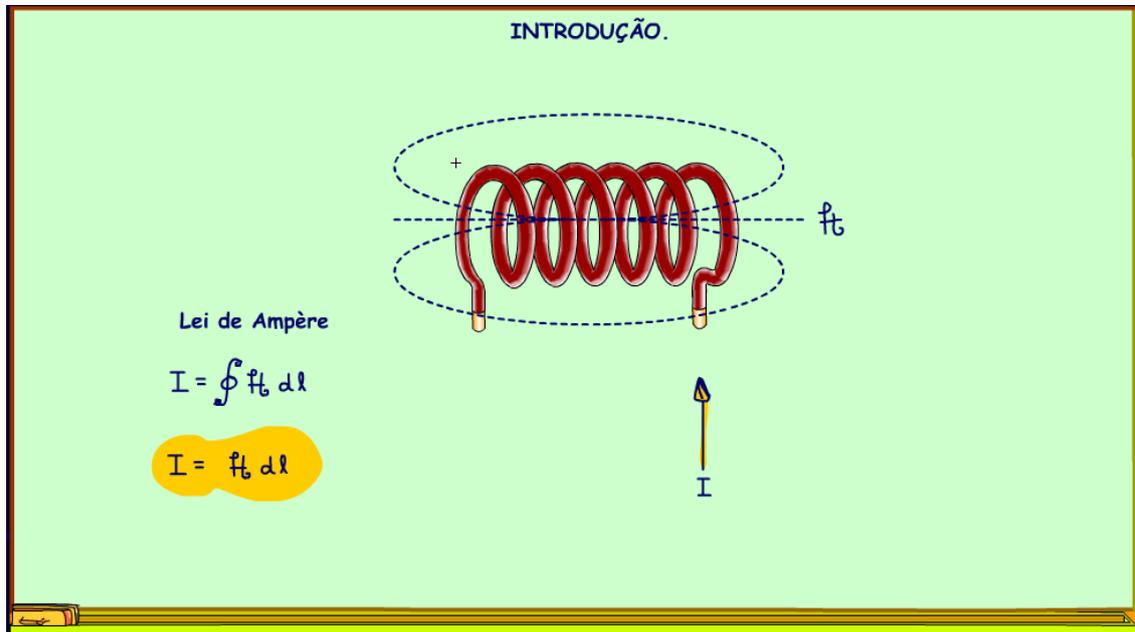


Figura 8

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O termo da esquerda é simplesmente a corrente que está percorrendo a bobina, e o termo da direita é o campo magnético criado pela bobina, a unidade do termo da esquerda você já conhece e o Ampère.

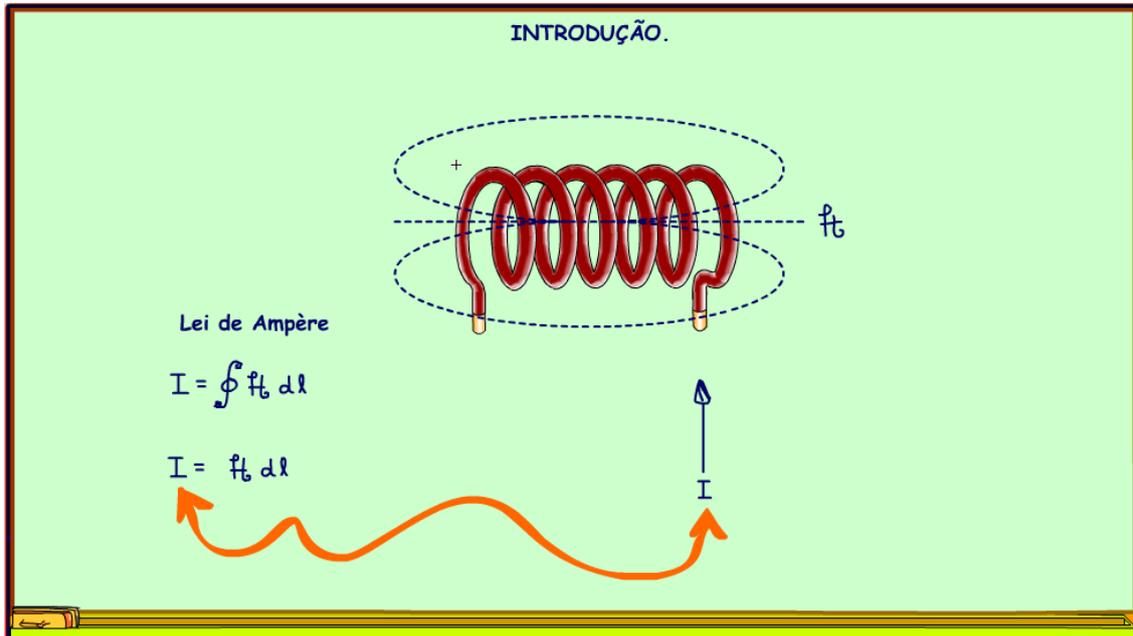


Figura 9

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O “H” é a intensidade do campo magnético e a unidade é o Ampère metro.

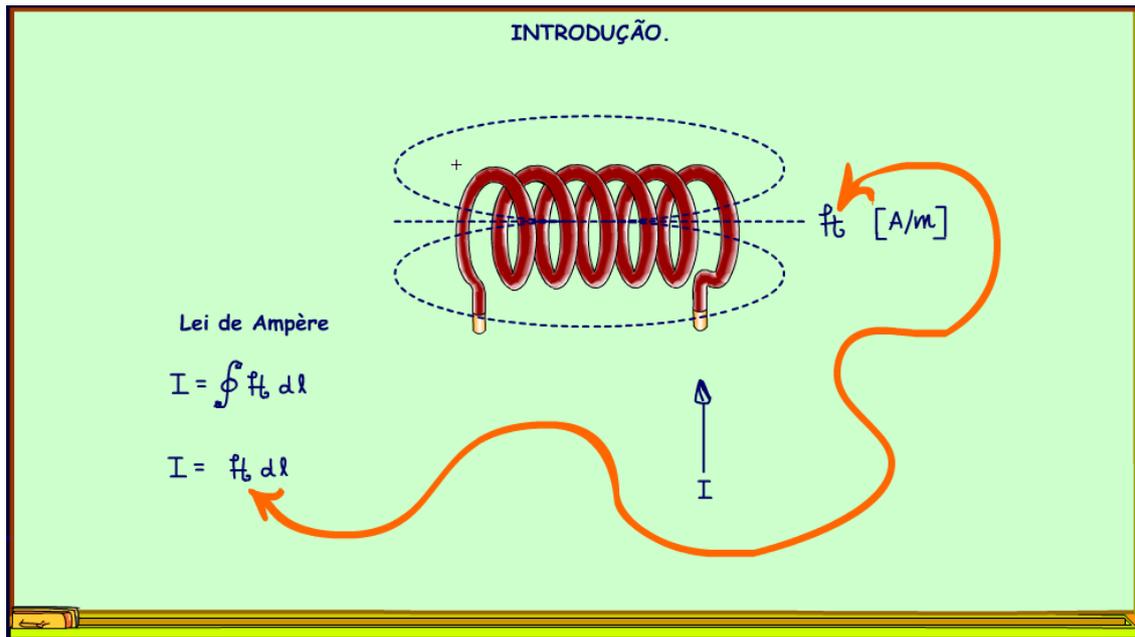


Figura 10

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Esse “L” na equação é o comprimento do caminho fechado formado pelas linhas do campo magnético, aquelas linhas tracejadas no diagrama, a unidade é o metro nosso velho conhecido, por isso a unidade do campo é Ampère metro.

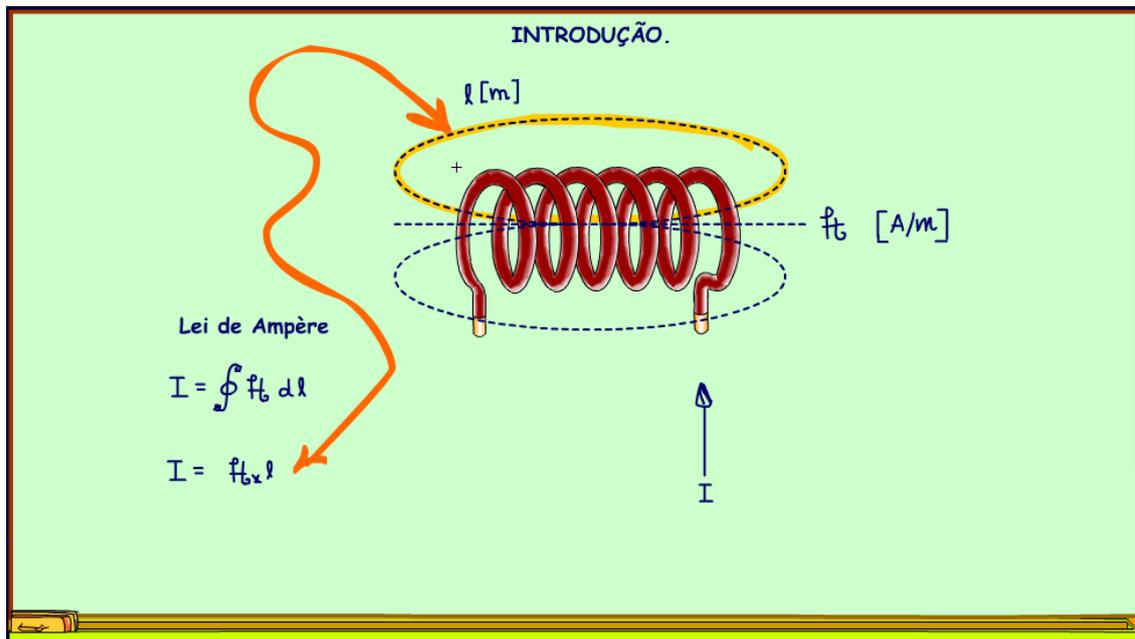


Figura 11

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Na prática essa bobina é constituída de mais de uma espira, a bobina tem “N” espiras, por isso, a corrente tem que ser multiplicada por N na equação.

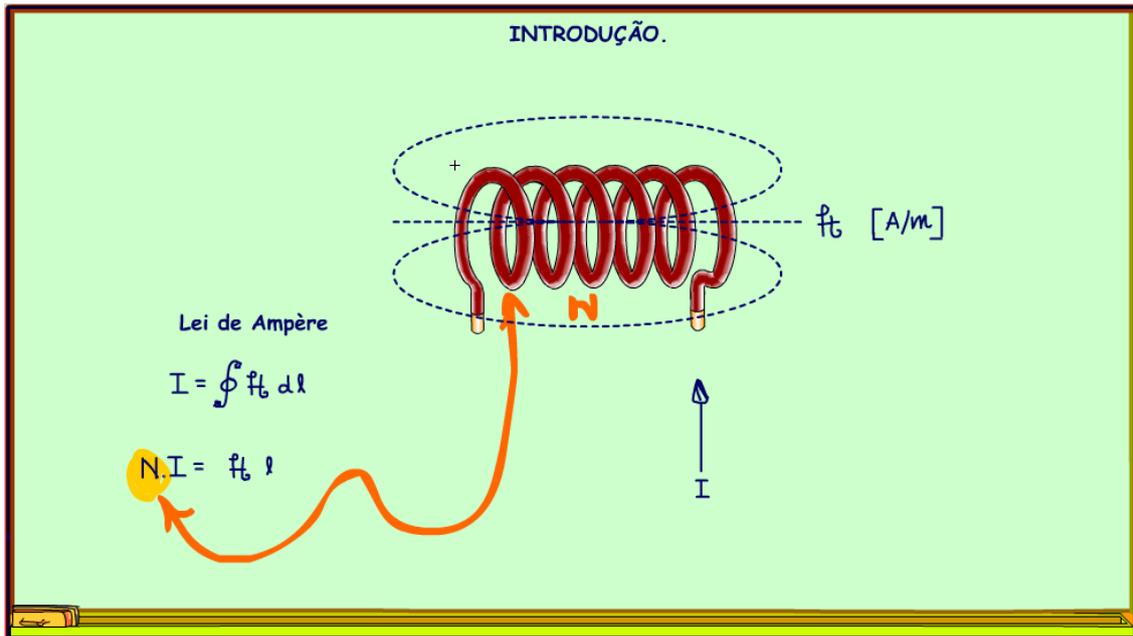


Figura 12

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

### 1.3 EFEITO DO NÚCLEO NA BOBINA.

Quando um núcleo ferroso é colocado na bobina tudo fica mais fácil.

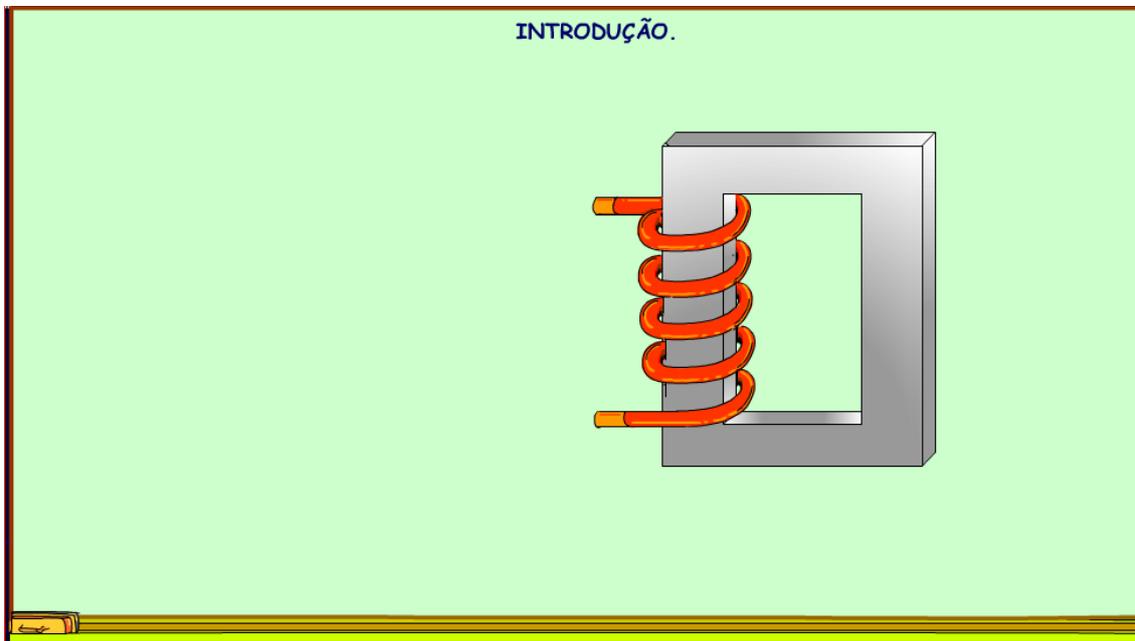


Figura 13

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Agora a maior parte do campo fica concentrado no núcleo, se esse núcleo for de um material ferroso fechado, como na figura, a mágica começa a acontecer.

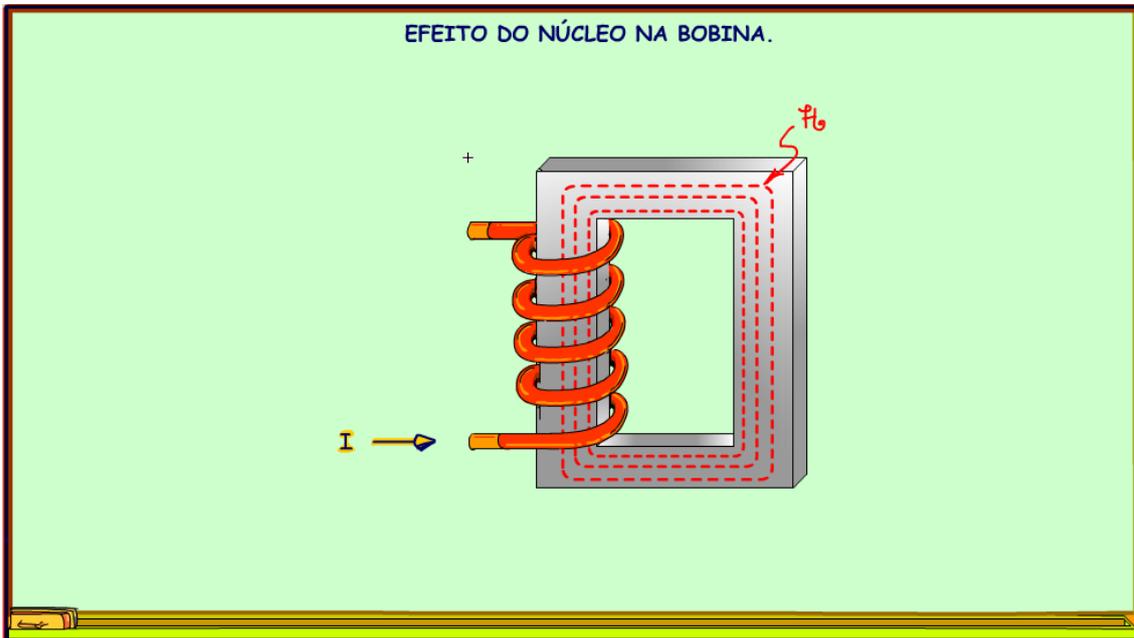


Figura 14

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Essa é a estrutura dos transformadores, dos motores, dos relés que você está acostumado a ver na eletrônica e eletricidade.

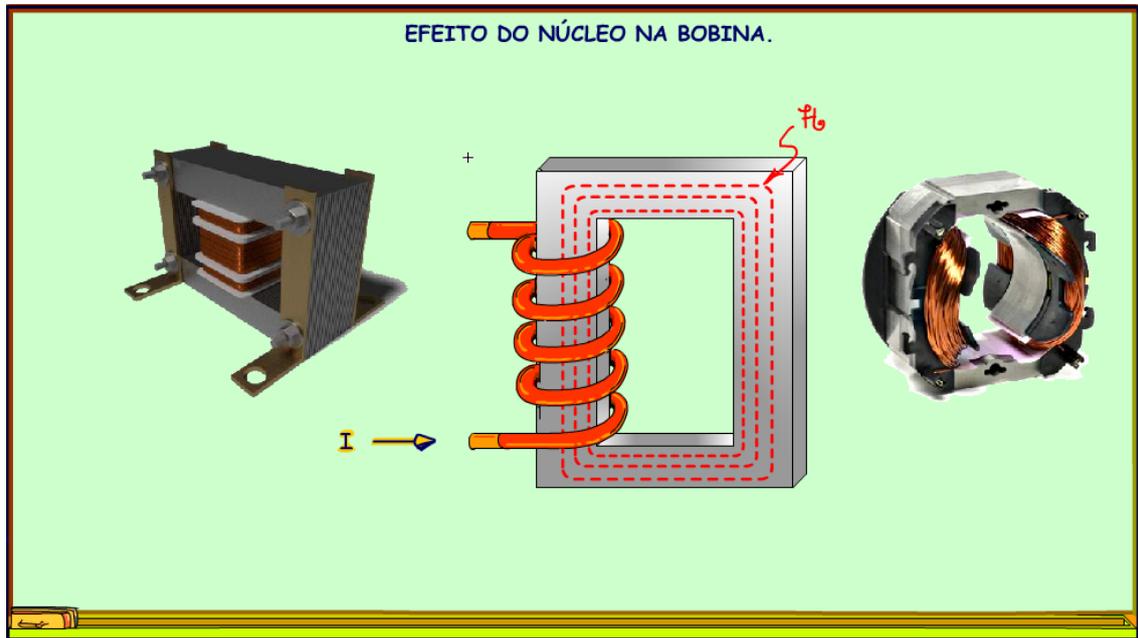


Figura 15

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O núcleo além de concentrar o campo magnético ainda tem a propriedade de aumentar o campo magnético.

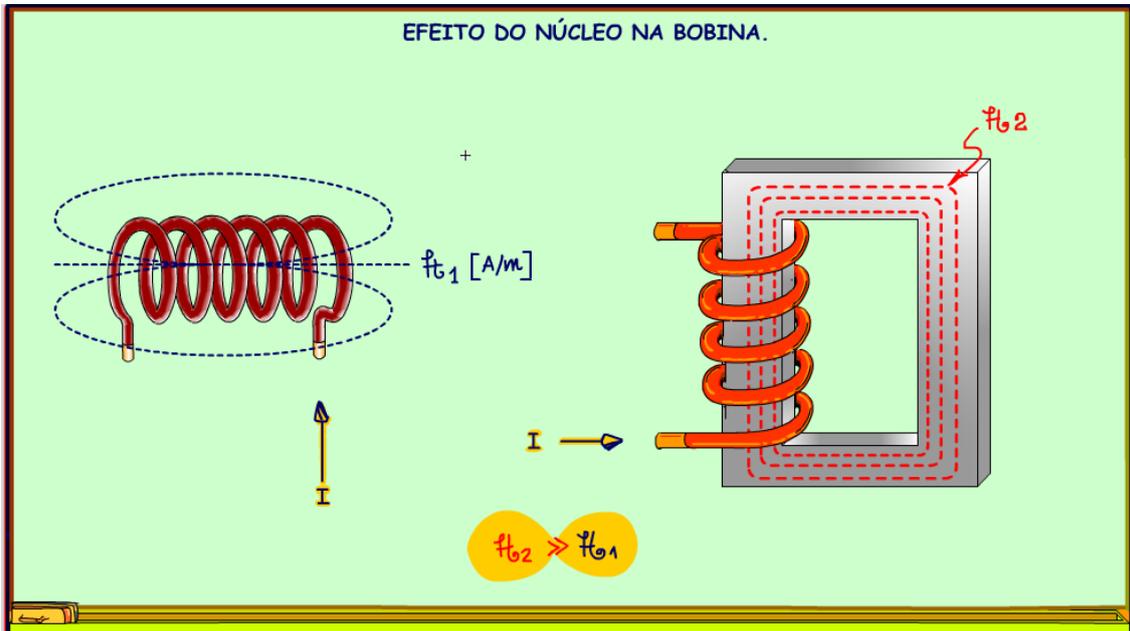


Figura 16

## 1.4 INDUÇÃO MAGNÉTICA.

É como se a presença do núcleo ferroso induzisse um novo campo magnético, então esse novo campo magnético recebe o nome de indução magnética e é referenciado pela letra “B”.

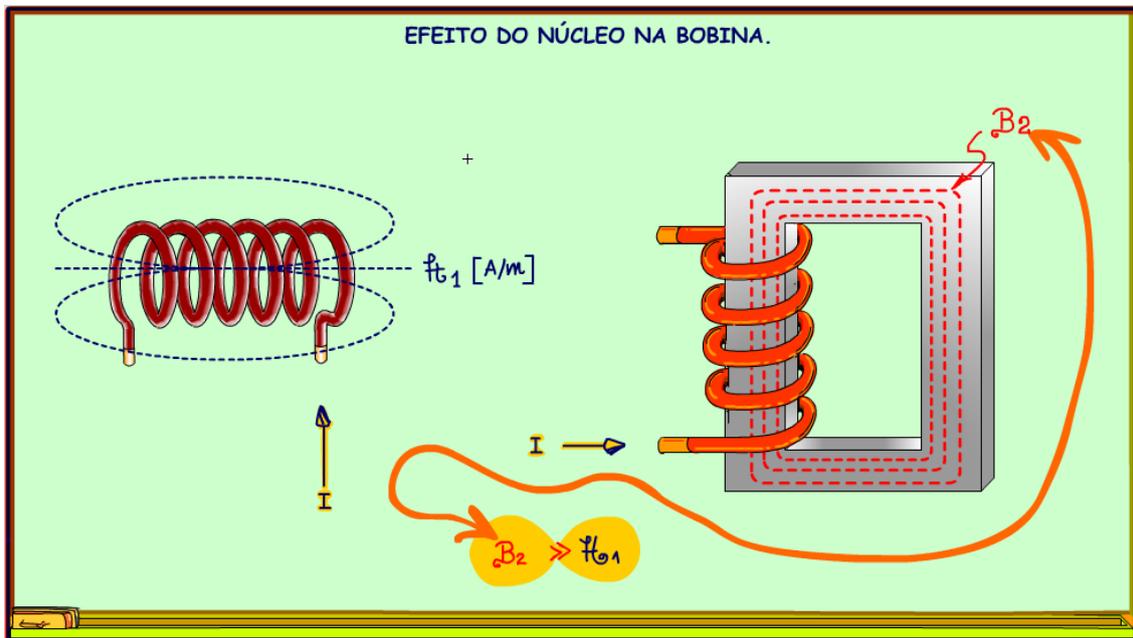


Figura 17

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

E o valor do campo de indução magnética é igual ao valor do campo magnético original multiplicado por uma constante chamada permeabilidade magnética do material.

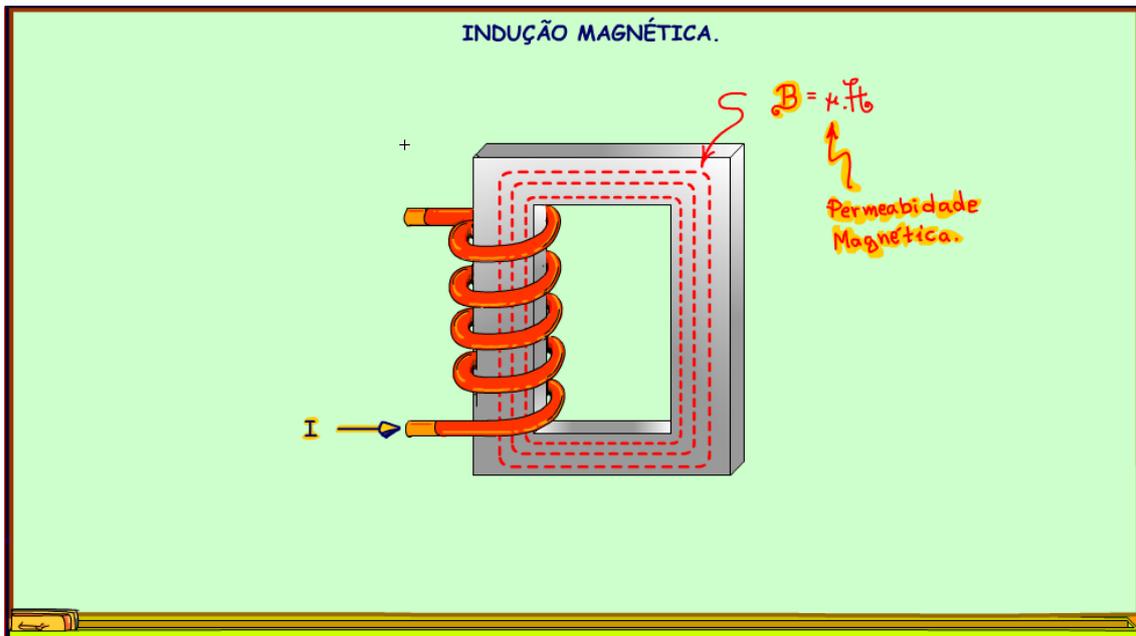


Figura 18

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Sempre que tiver núcleo ferroso você deve usar a indução magnética B a unidade é o Tesla, ela expressa a influência do núcleo no campo magnético H.

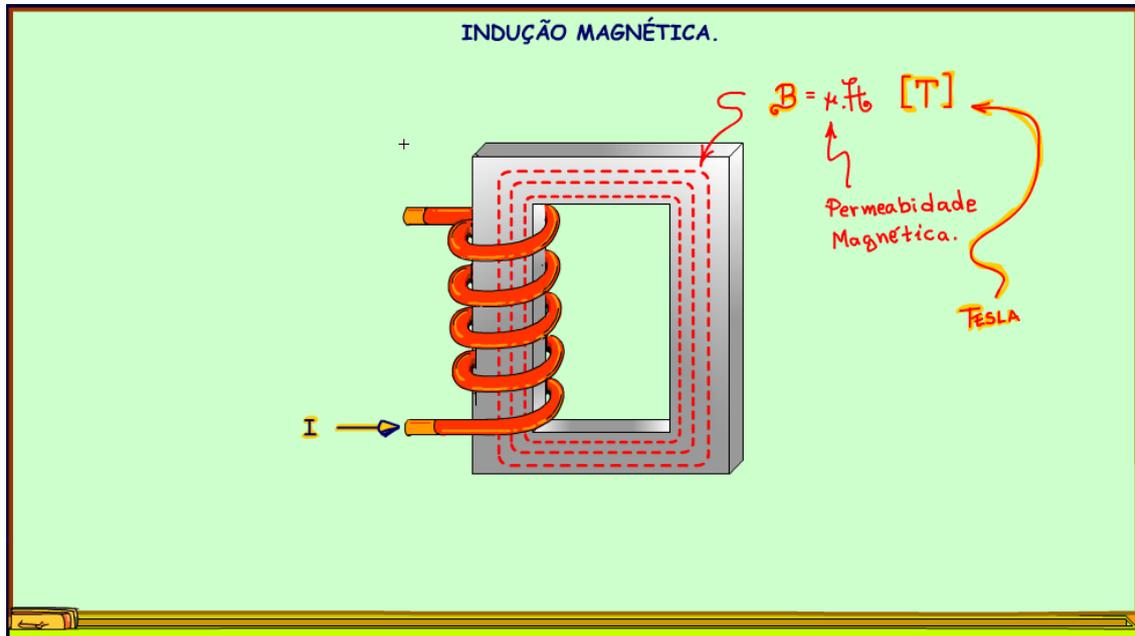


Figura 19

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

A permeabilidade depende do tipo de material e normalmente é referenciada a permeabilidade do vácuo, que é praticamente a mesma do ar, olha o valor na figura.

A unidade é Henry por metro.

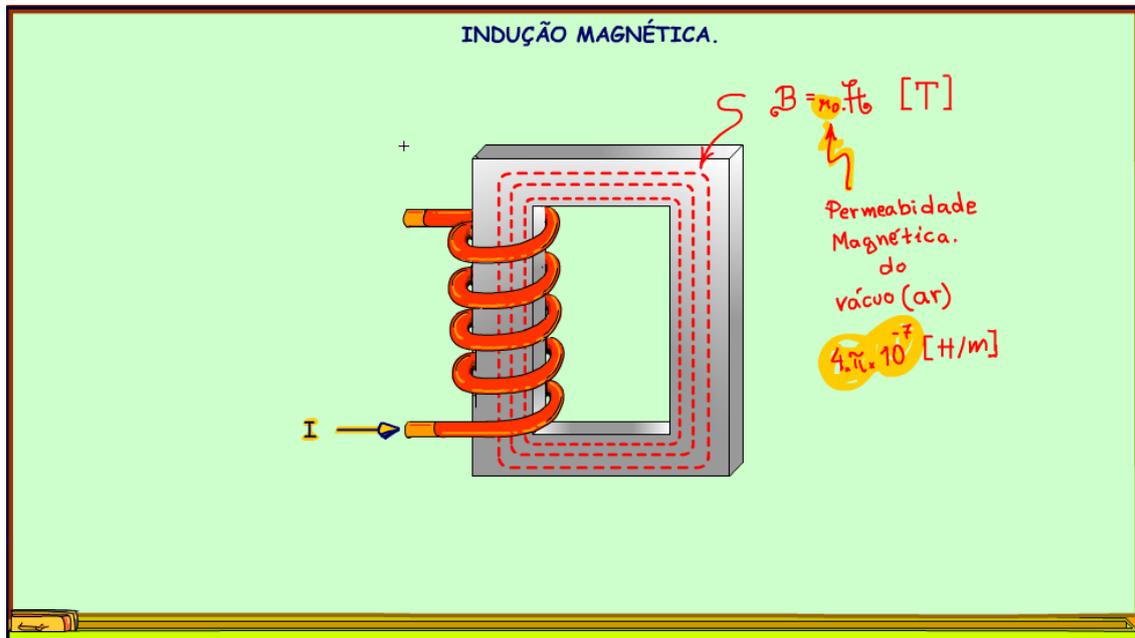


Figura 20

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Mas na prática usamos a permeabilidade relativa do material ferroso usado para fazer os núcleos das bobinas.

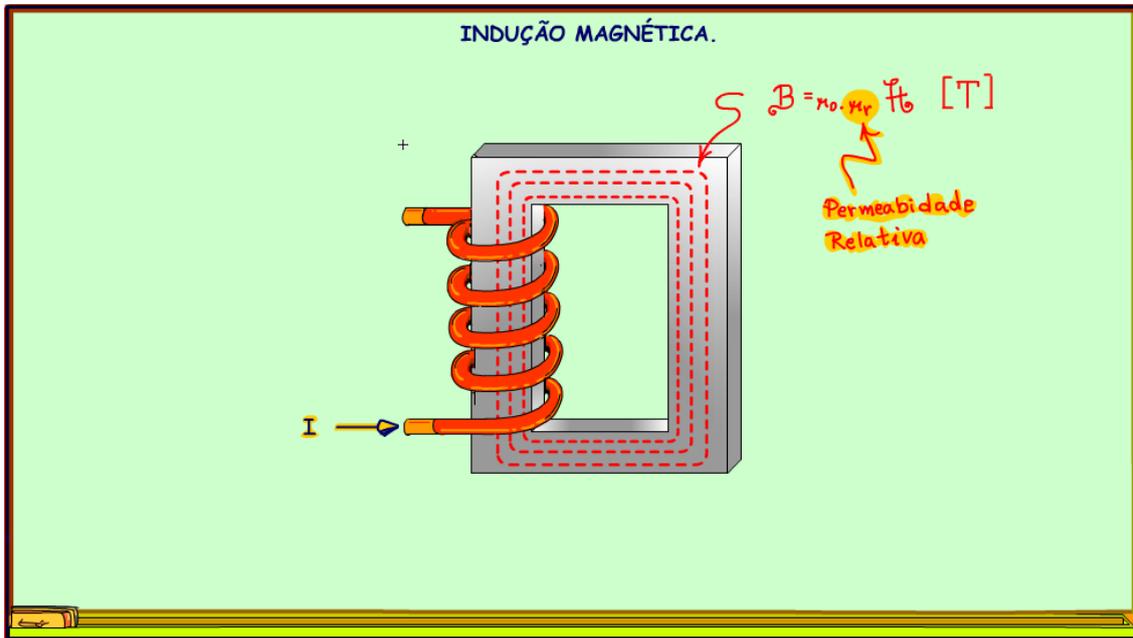


Figura 21

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

A permeabilidade magnética do ferro é muito maior do que a do vácuo.

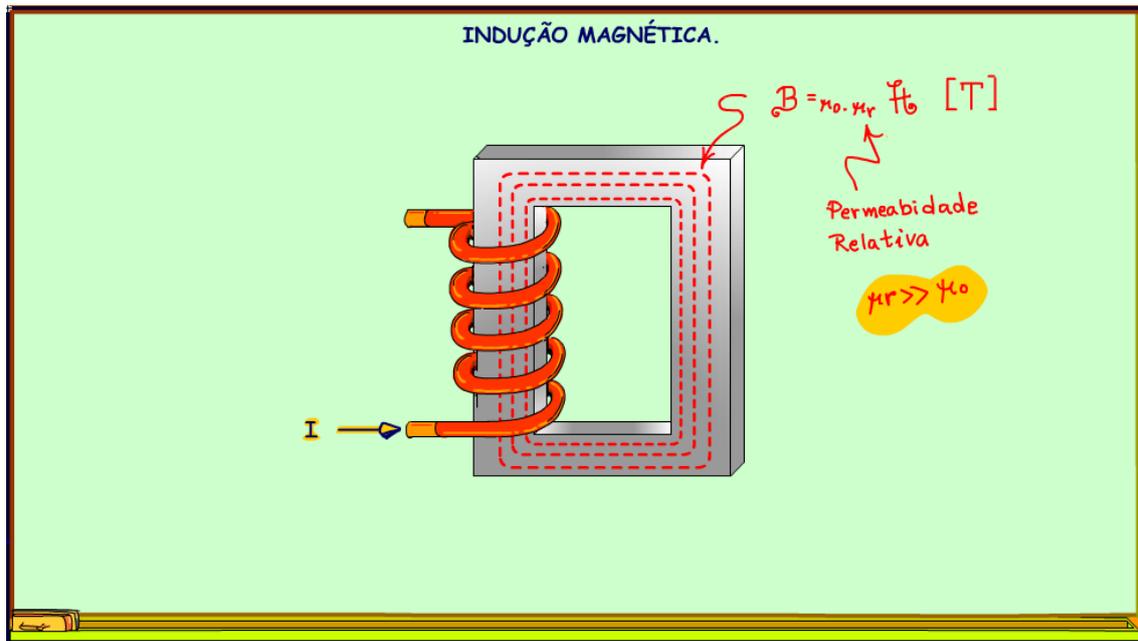


Figura 22

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Por exemplo, no ferro silício, que é o material mais comum para fazer transformador, a permeabilidade relativa varia de 2000 a 6000, que indica quantas vezes ela é maior do que a do vácuo, aumenta um bocadinho você não acha?

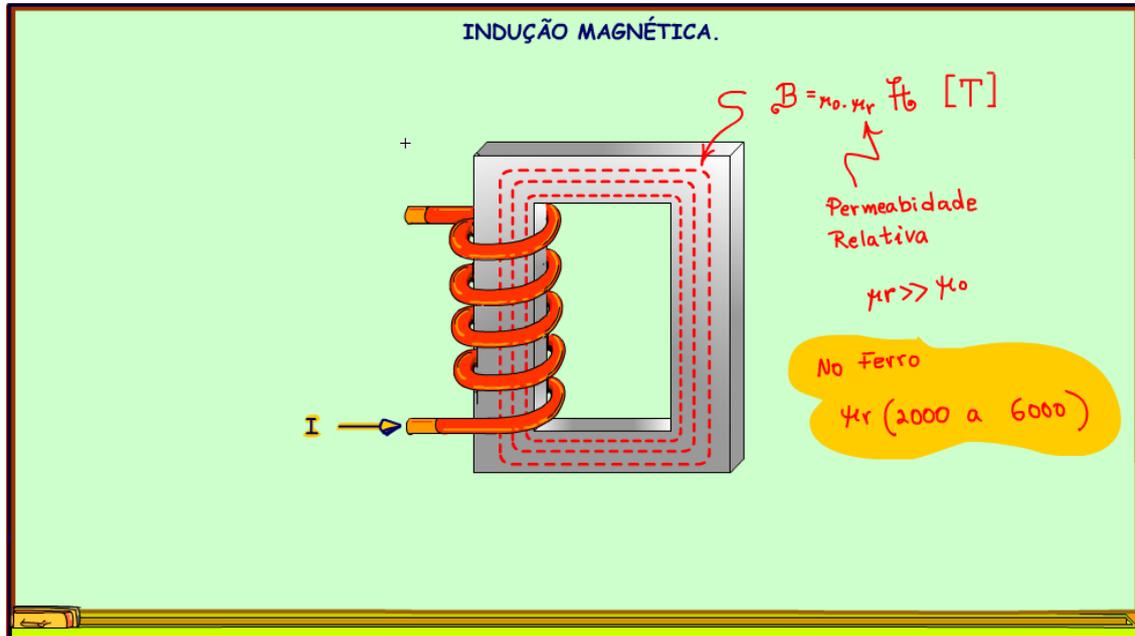


Figura 23

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Então o campo indução magnética representa o campo magnético reforçado, por isso, sempre que tiver núcleo ferroso esse é o campo que você deve usar.



Figura 24

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Esse fenômeno acontece porque os núcleos ferrosos têm o que os cientistas chamam de domínios magnéticos, que funcionam como pequenos ímãs, normalmente eles estão desorientados.

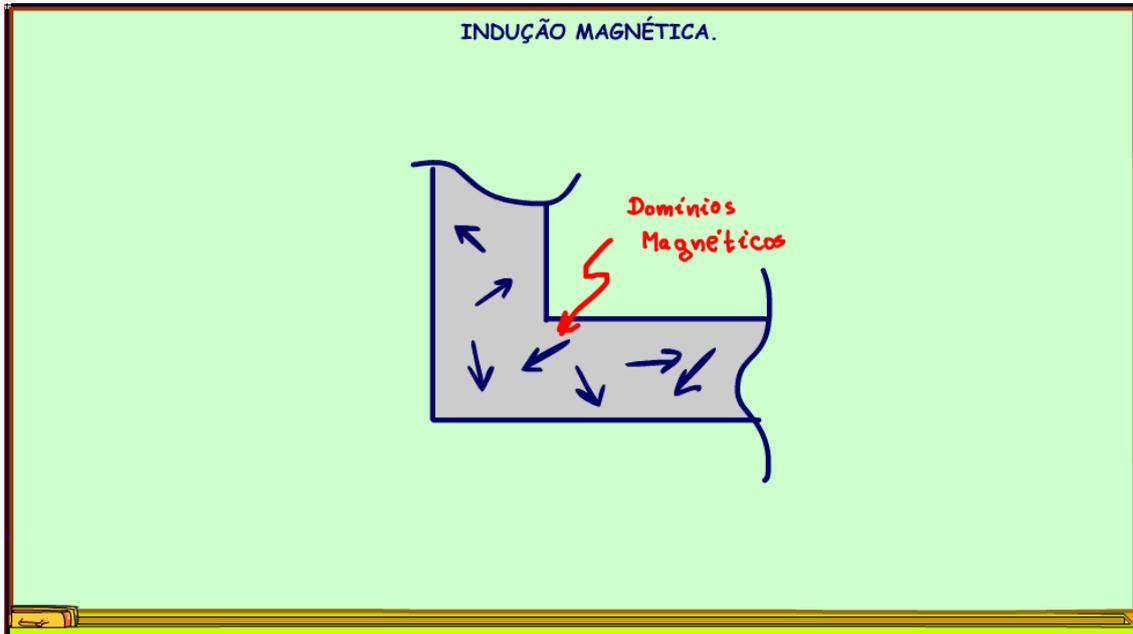


Figura 25

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Na presença do campo magnético eles se alinham reforçando o campo original, entra campo magnético e sai campo induzido.

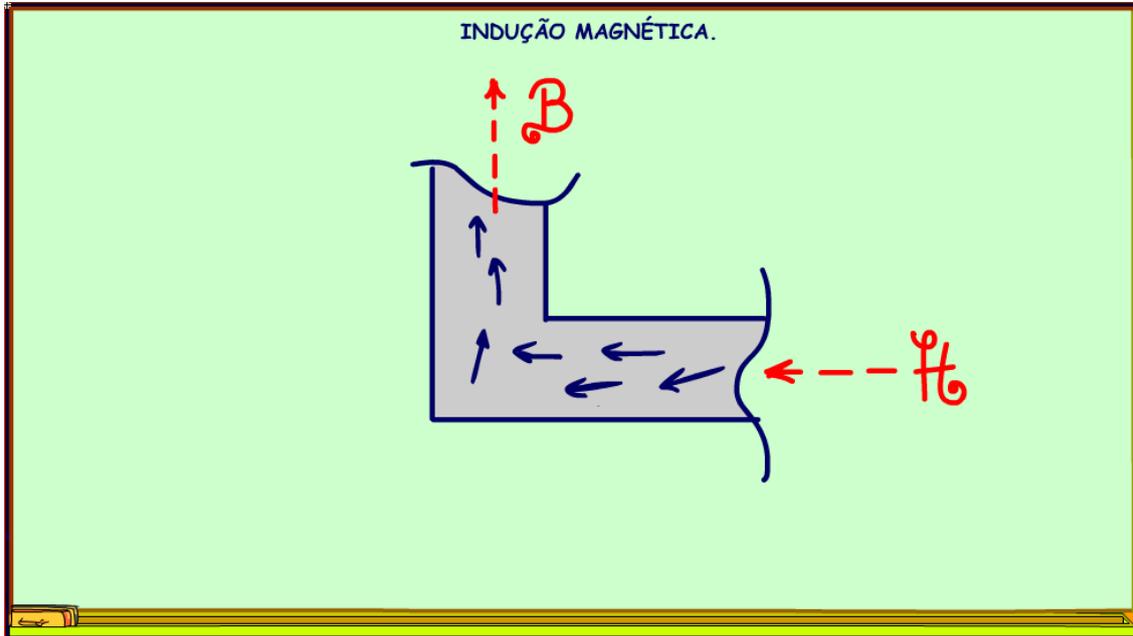


Figura 26

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O campo magnético gerado pela bobina tem orientação, exatamente como um ímã, um ímã tem um polo norte e um polo sul.

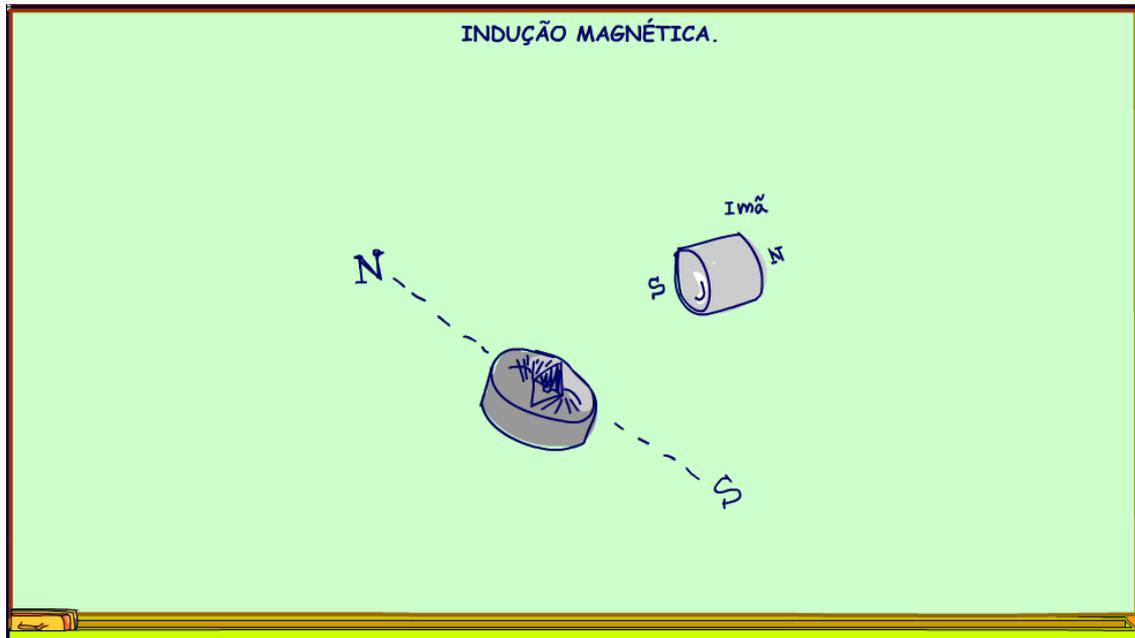


Figura 27

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Então, quando a corrente passa pela bobina ela se transforma num ímã com polos magnéticos e tudo mais.

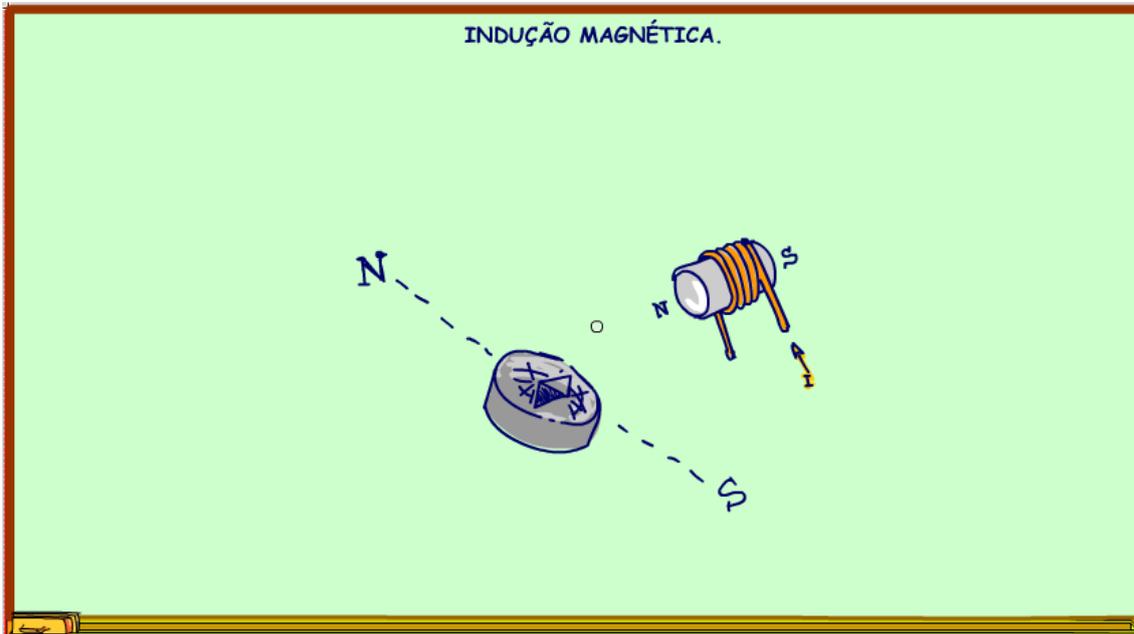


Figura 28

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

A regra para saber para onde aponta o polo norte da bobina é a regra da mão direita,

Como mostra a figura, coloque os dedos simulando a corrente circulando na bobina, o dedão aponta para o polo norte.



Figura 29

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Quando o núcleo não fecha totalmente, ele é chamado de eletroímã e o fluxo é reforçado no centro do eletroímã.

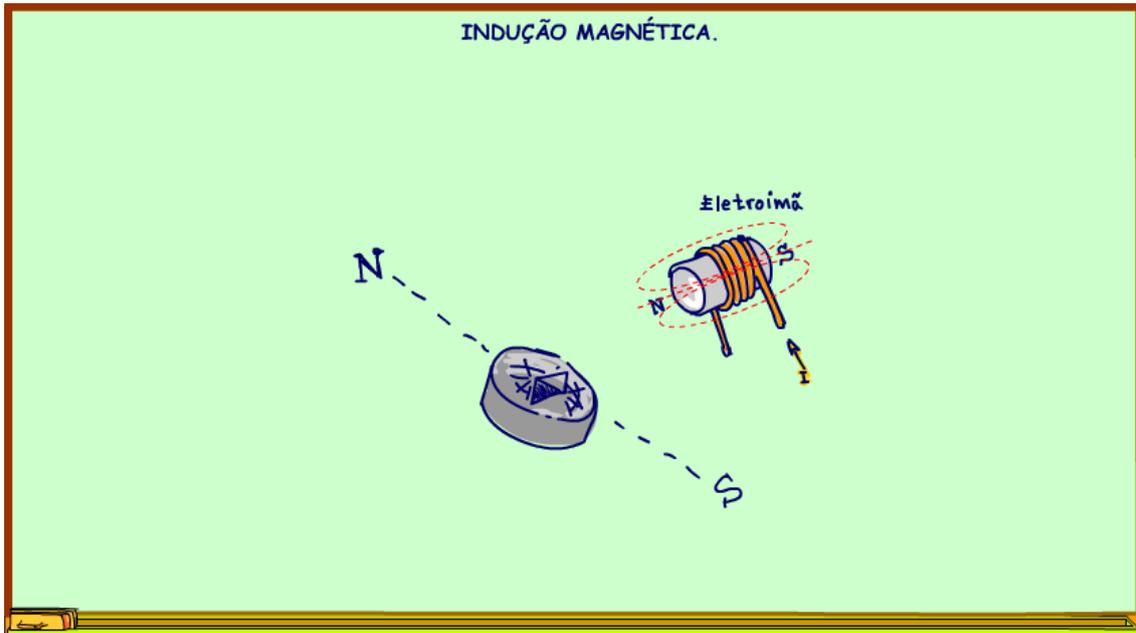


Figura 30

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Mas nem tudo são flores, já vou avisando que existe um limite para que os domínios se alinhem, acima desse limite não adianta enviar mais corrente que o campo magnético não vai ser mais reforçado, esse limite é chamado de saturação magnética.



Figura 31

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

### 1.5 LEI DE AMPÈRE E A INDUÇÃO MAGNÉTICA.

Até agora só temos uma equação a Lei de Ampère.

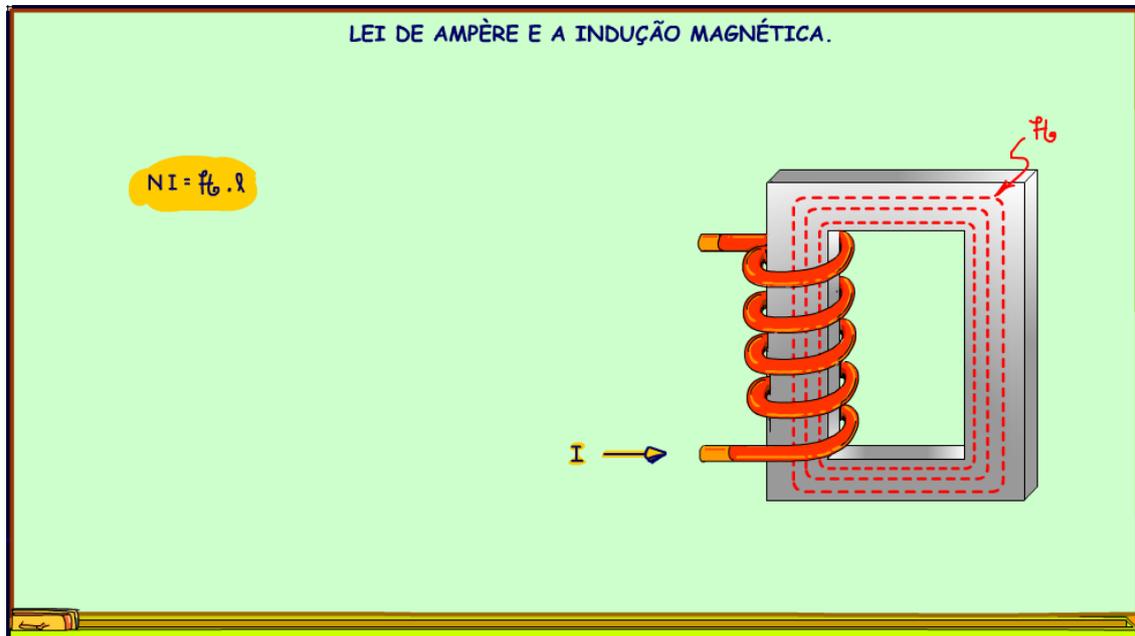


Figura 32

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Mas na prática com bobinas com núcleo ferroso a Lei de Ampère é escrita em função do campo indução magnética como mostra a figura.

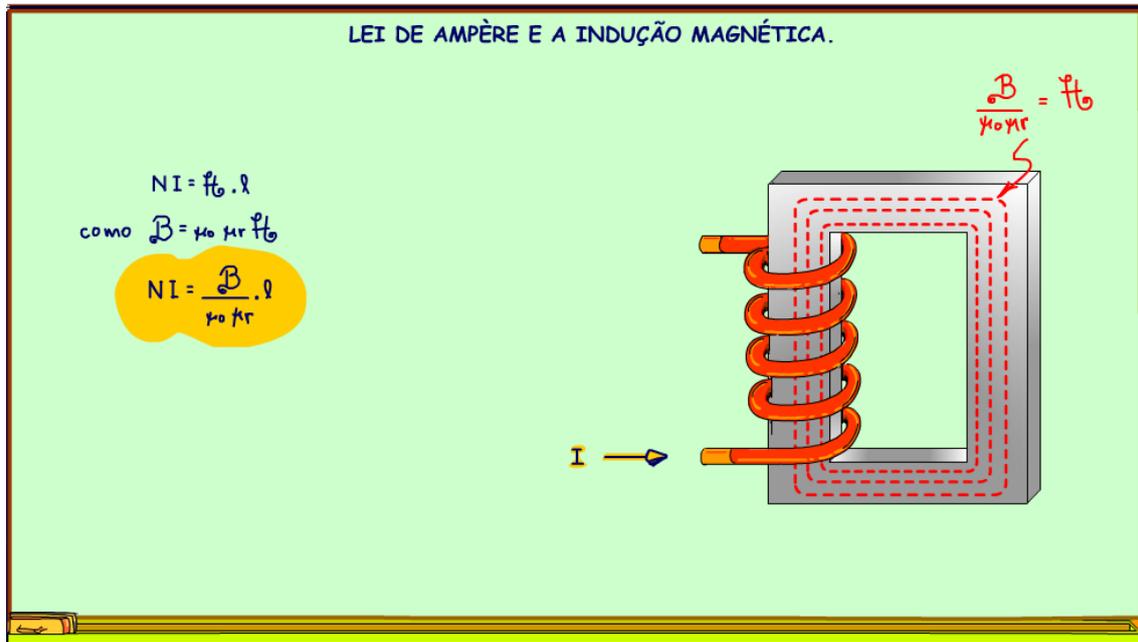


Figura 33

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Outro detalhe importante é que a corrente pode ser contínua ou alternada, no entanto nessa primeira fase do estudo vou tratar somente da corrente contínua, é o caso dos relés DC, contadores DC, motores DC etc.

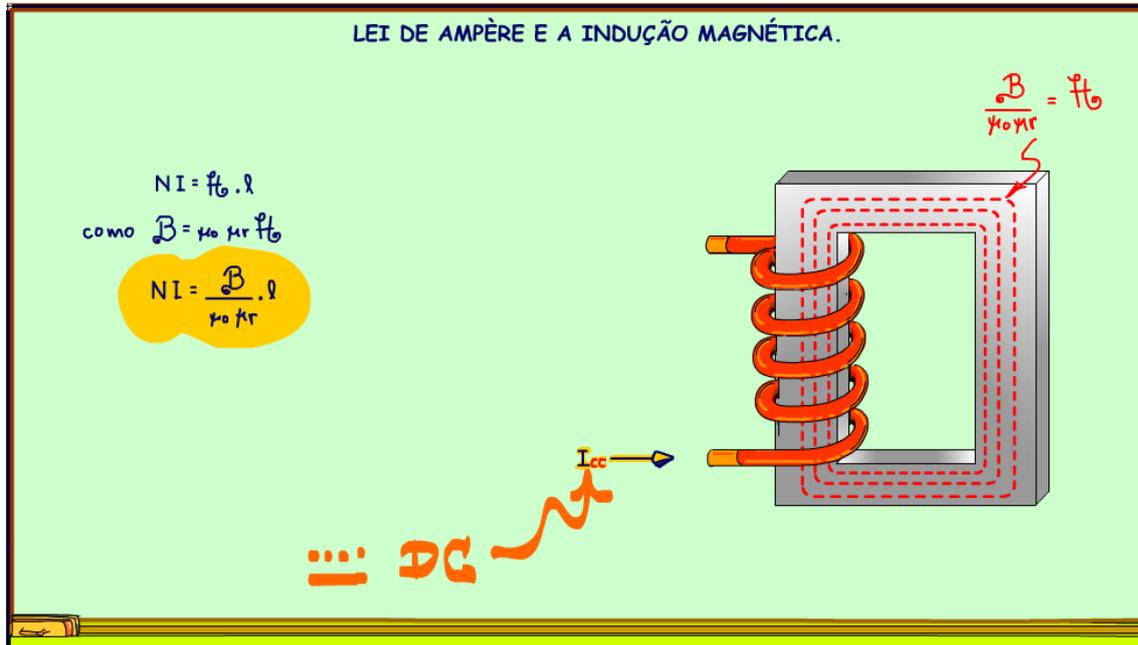


Figura 34

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Essa é uma diferença que não está bem clara na maioria dos livros, em DC não entram as questões de indutância, força eletromotriz, então fica tudo mais simples.

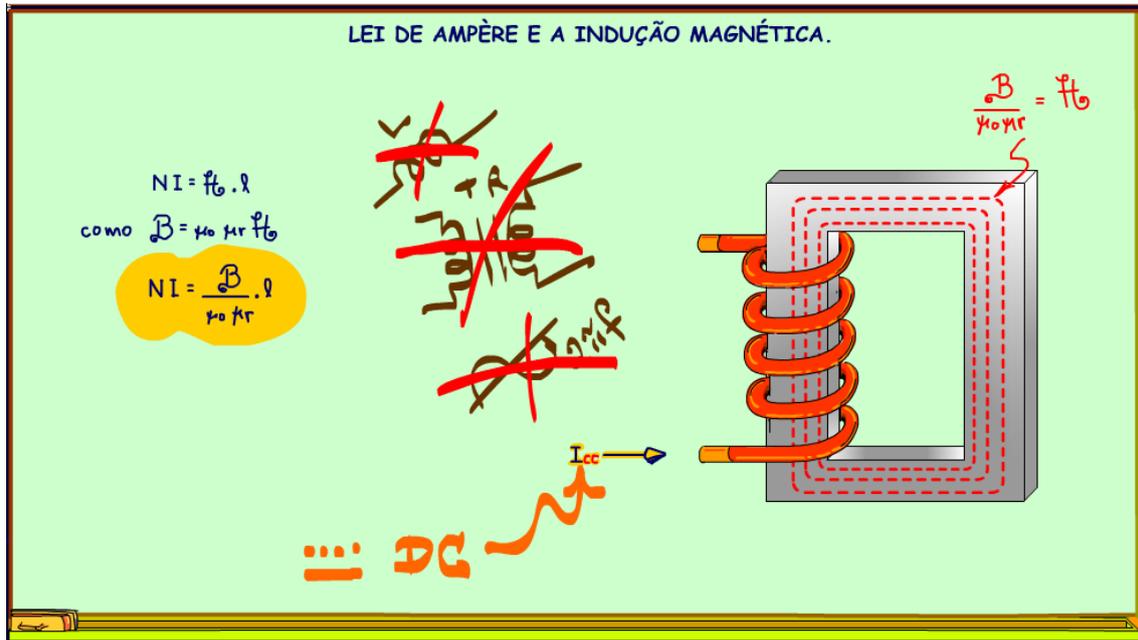


Figura 35

## 1.6 FLUXO MAGNÉTICO.

Quando tem o núcleo, podemos considerar que todo o campo indução magnética está concentrado no núcleo e esse campo é uma espécie de força magnética que fica girando no núcleo, esse é o conceito de fluxo magnético.

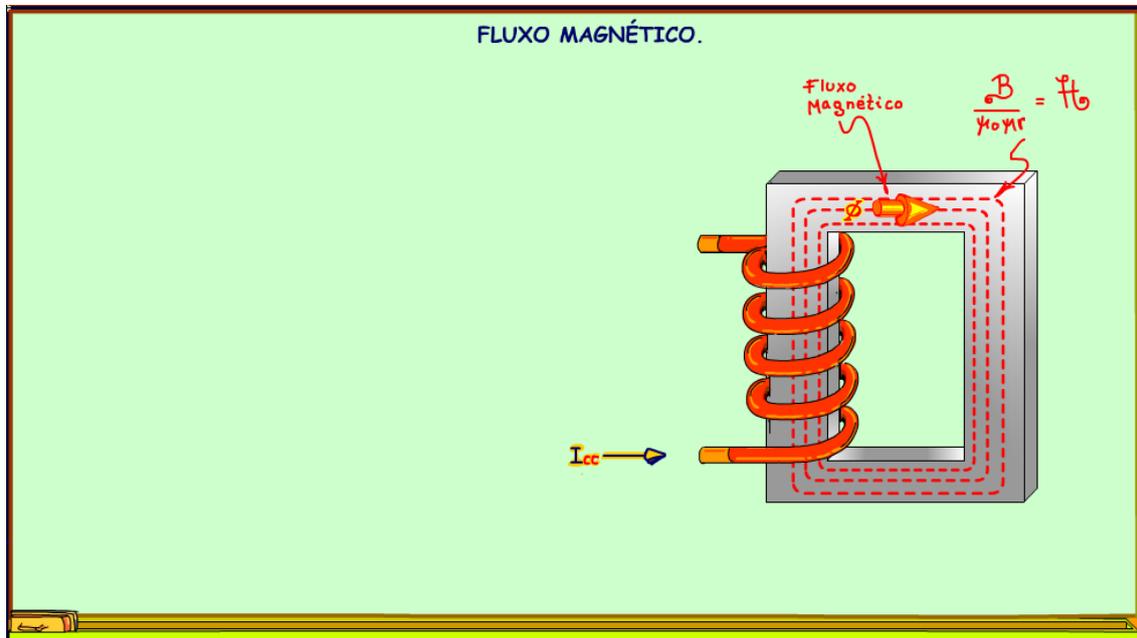


Figura 36

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Você pode imaginar o fluxo como sendo um fluxo de energia que se desloca, como um fluido por dentro do núcleo.

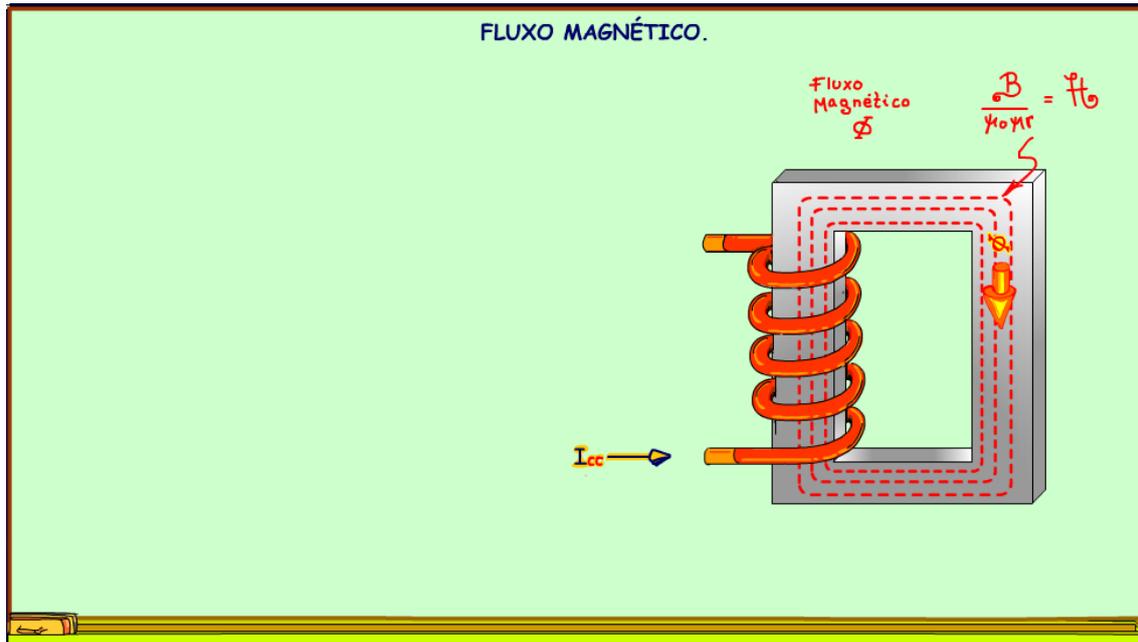


Figura 37

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Como a corrente elétrica em um condutor, a corrente elétrica é um fluxo de cargas elétricas.

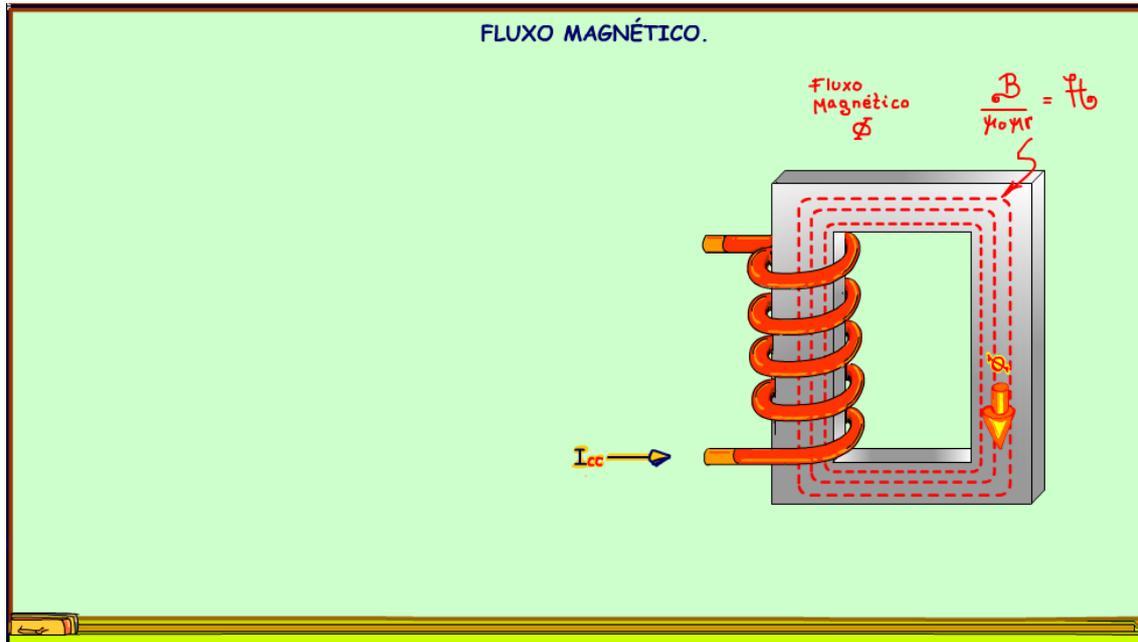


Figura 38

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Aqui é um fluxo de campo de indução magnética.

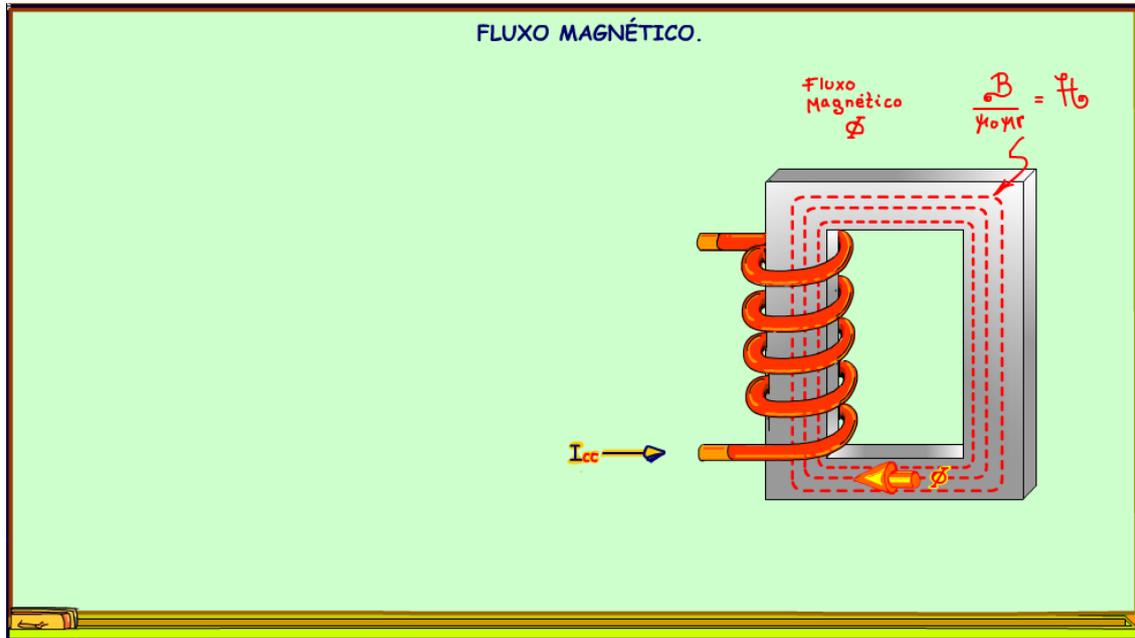


Figura 39

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Assim como a corrente elétrica é o número de cargas que cruzam a seção reta de um condutor.



Figura 40

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

No eletromagnetismo o fluxo magnético conta o número de linhas do campo indução magnética que cruza a seção reta do núcleo.

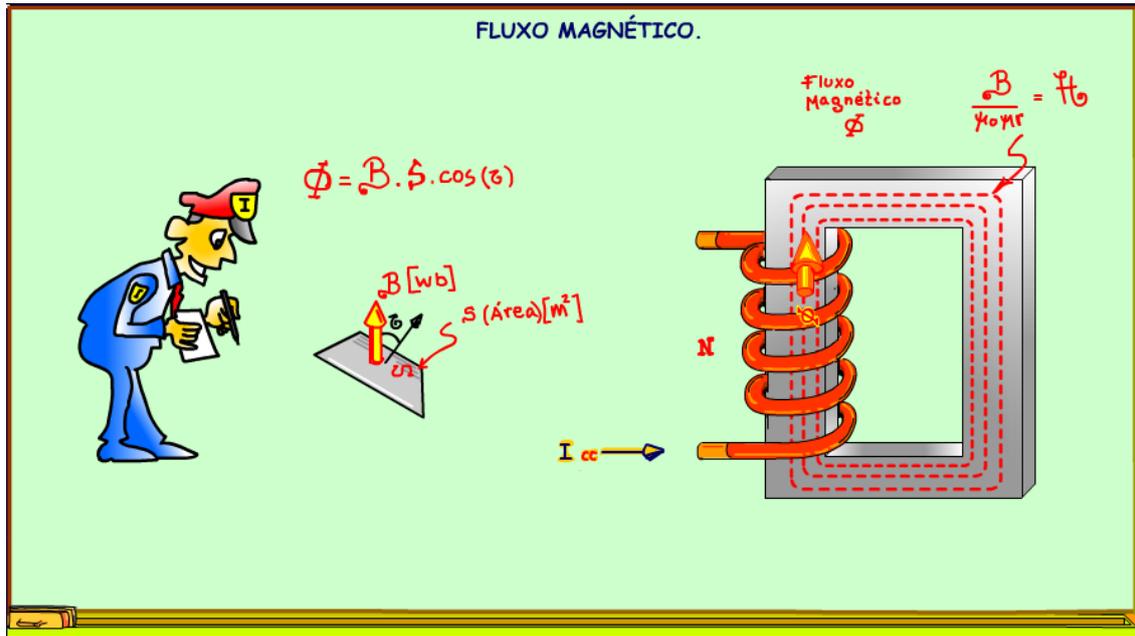


Figura 41

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Esse cosseno é para o caso do fluxo não ser perpendicular a superfície.

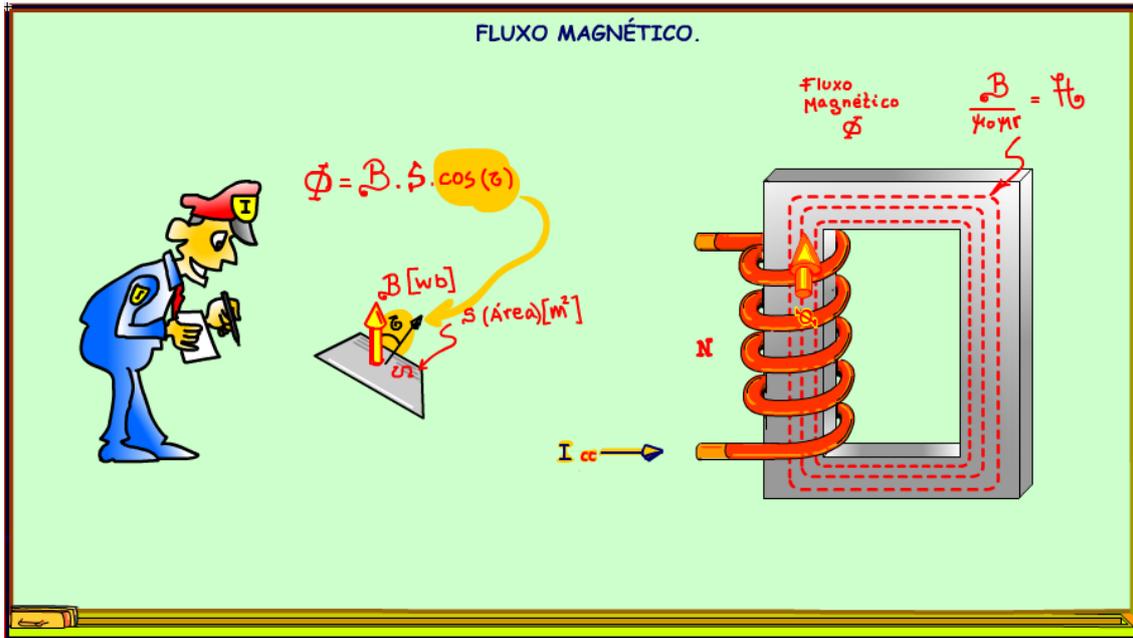


Figura 42

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Se o campo for perpendicular, não precisa multiplicar pelo cosseno do ângulo, é o caso dos núcleos que estamos estudando.

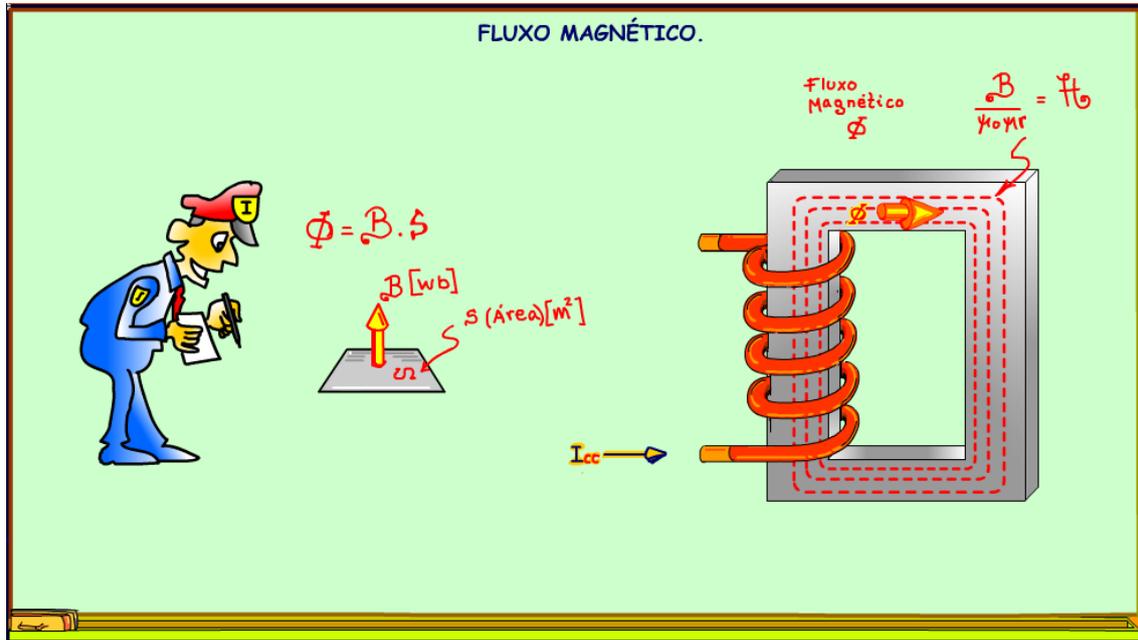


Figura 43

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Essa é a equação do fluxo, é o produto do campo indução magnética pela área da seção reta do núcleo.

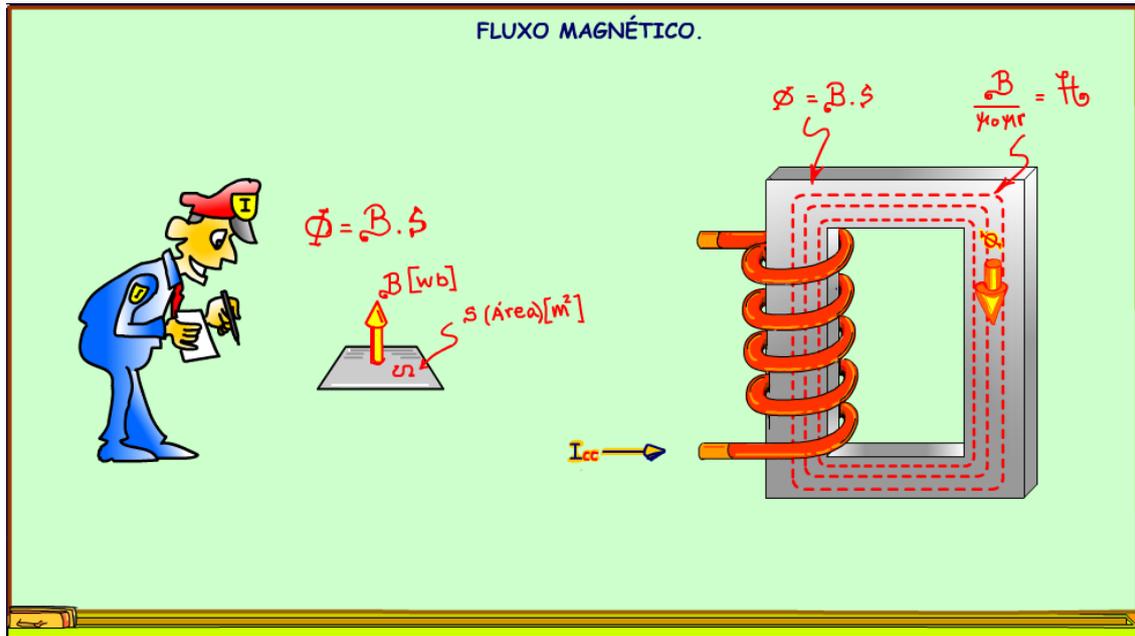


Figura 44

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

A unidade é o weber.

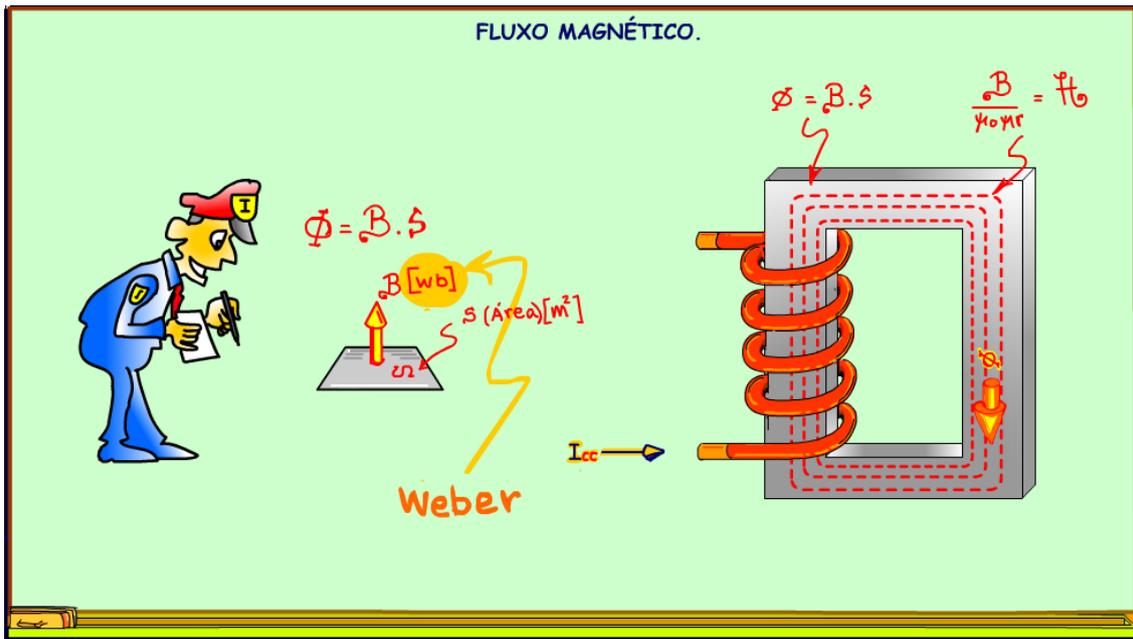


Figura 45

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Por isso esse tipo de abordagem é chamado de circuito magnético.

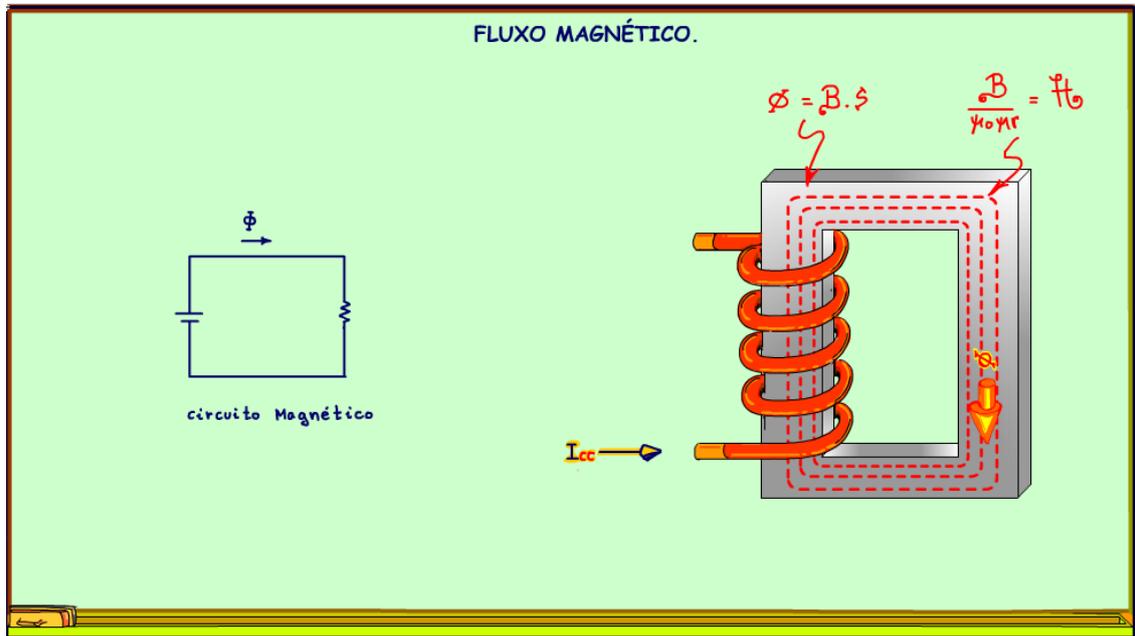


Figura 46

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Nesse circuito magnético a corrente é o fluxo magnético.

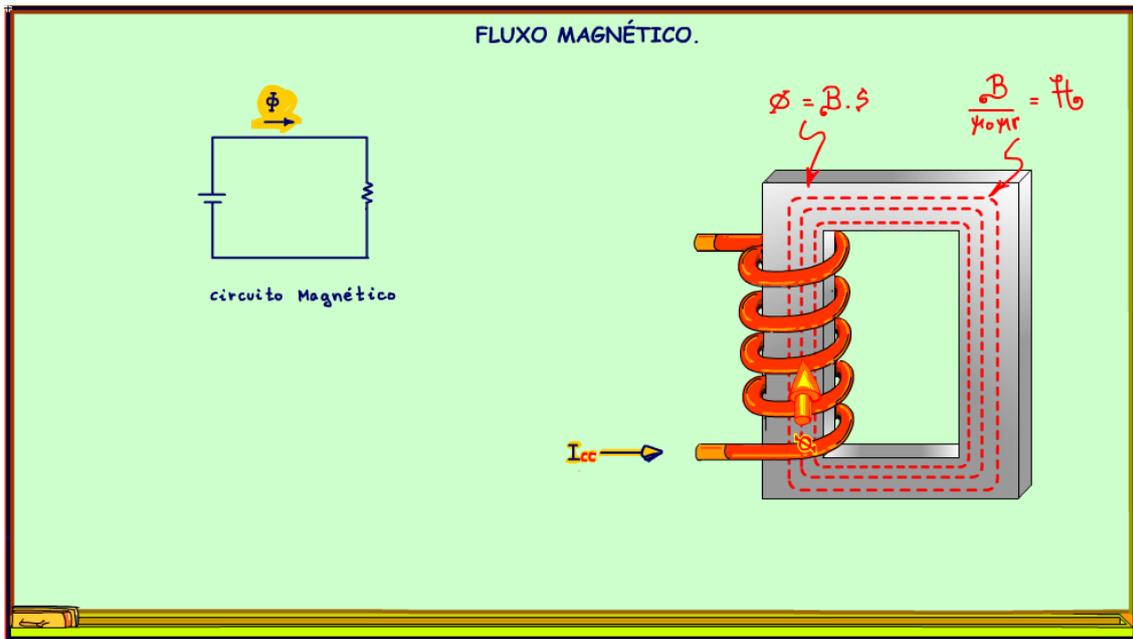


Figura 47

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Então, quanto maior a seção reta do núcleo, a área do núcleo, mais intenso vai ser o fluxo magnético.

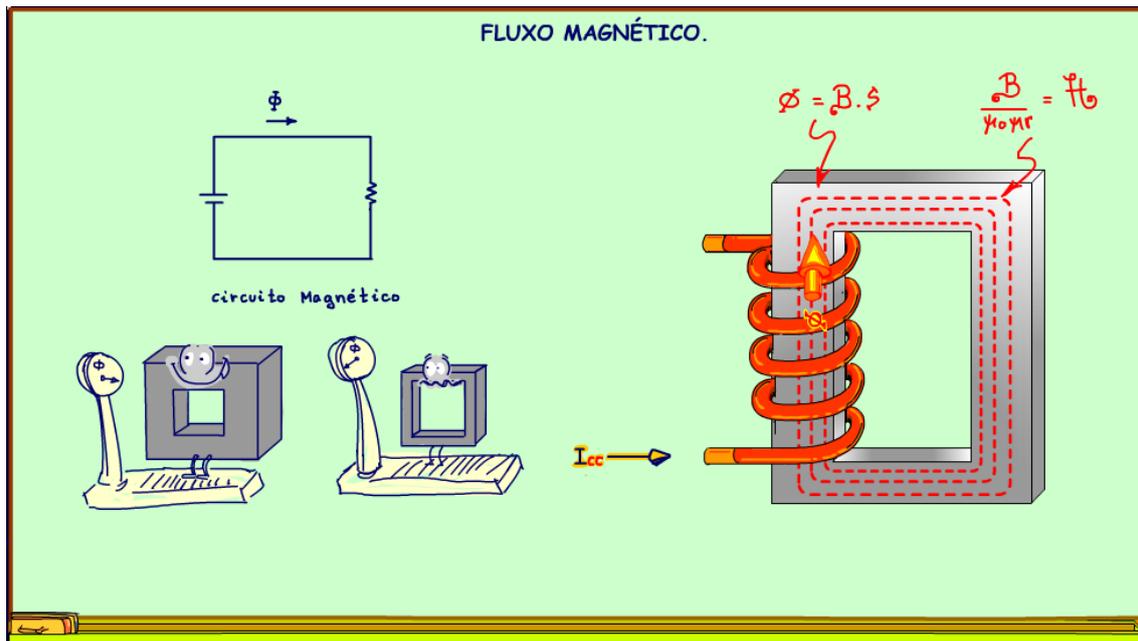


Figura 48

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Quando trabalhamos com eletromagnetismo é importante conhecer a equação da Lei de Ampère escrita em função do fluxo.

Essa é a Lei de Ampère inicial, ela diz que a corrente gera um campo magnético.

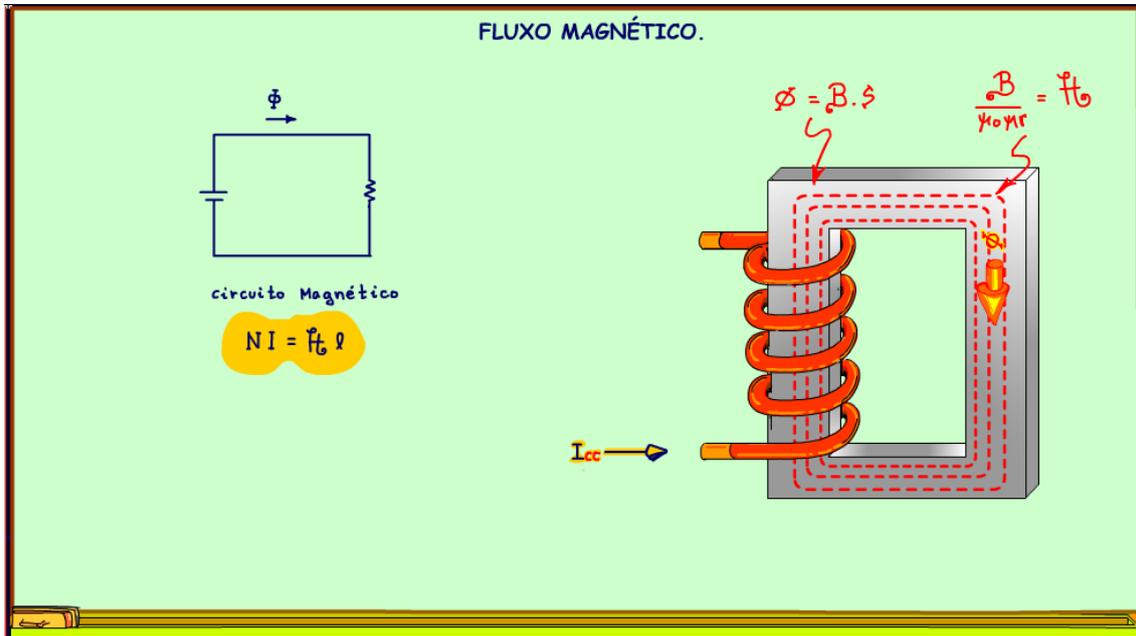


Figura 49

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

No núcleo de ferro o campo magnético é concentrado e se transforma no campo indução magnética, a permeabilidade magnética relativa descreve a influência do núcleo.

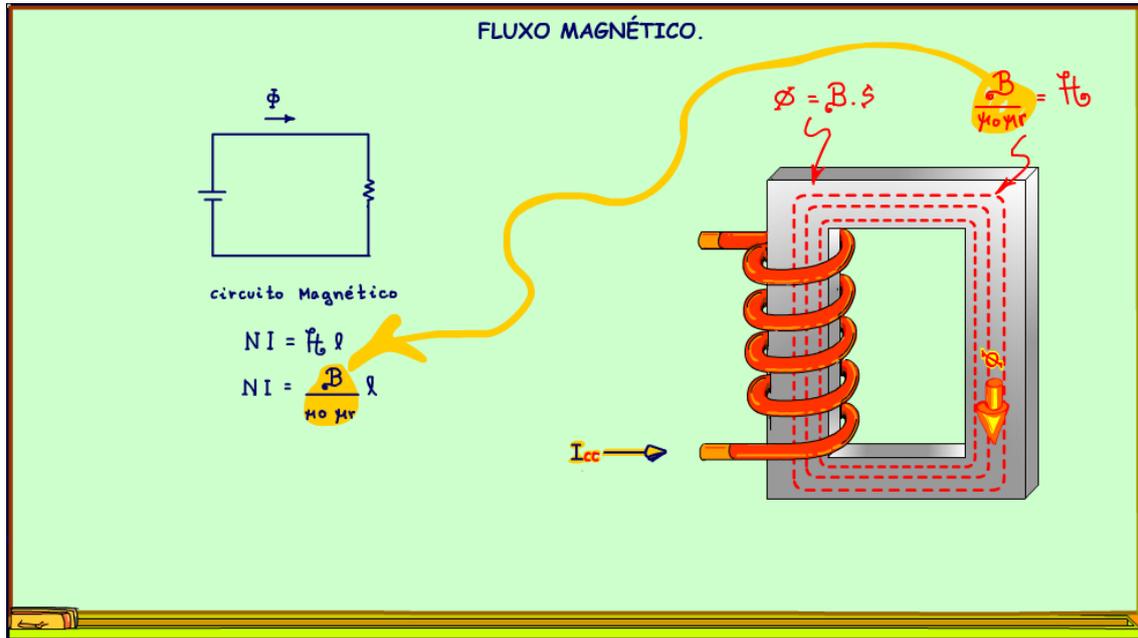


Figura 50

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Agora é só pegar o fluxo magnético em função do campo indução magnética e trazer para a equação.

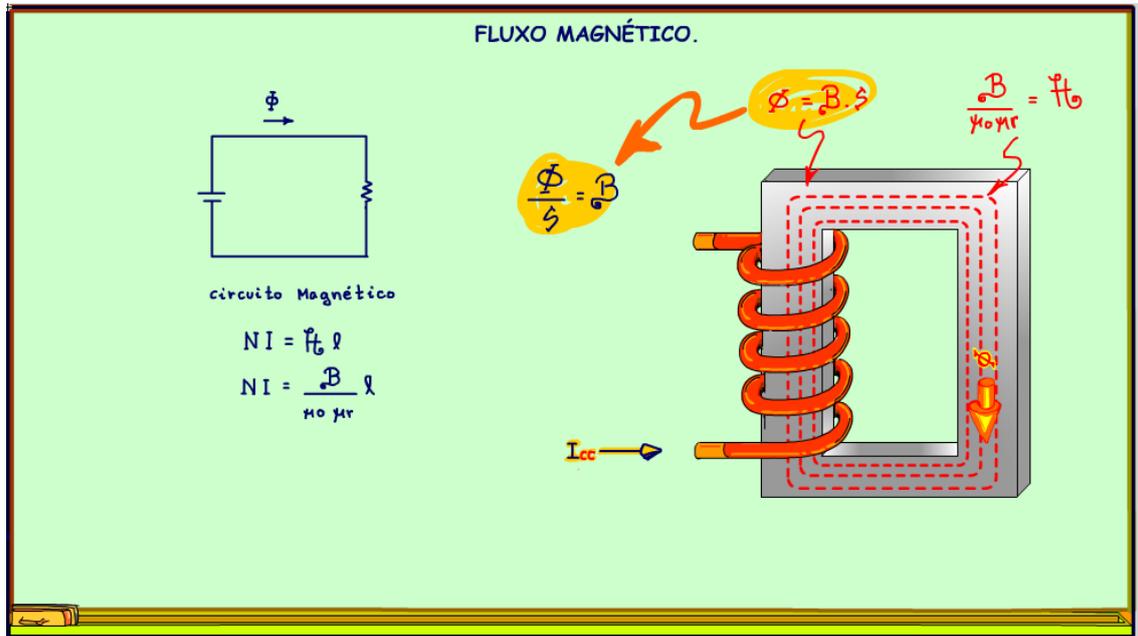


Figura 51

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Substituindo o fluxo no lugar da indução magnética, pronto, temos a lei de ampère como é tratada no eletromagnetismo.

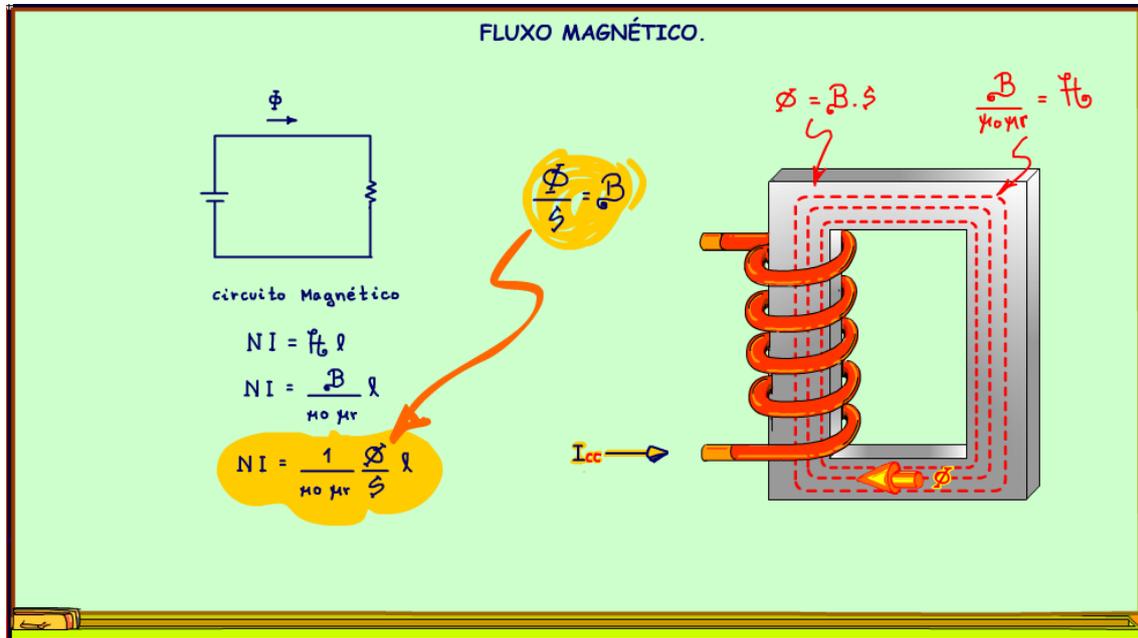


Figura 52

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

E chegamos na Lei de Ampère como é tratada para fazer máquinas elétricas, transformadores e tudo mais, se você entendeu tudo até aqui parabéns!

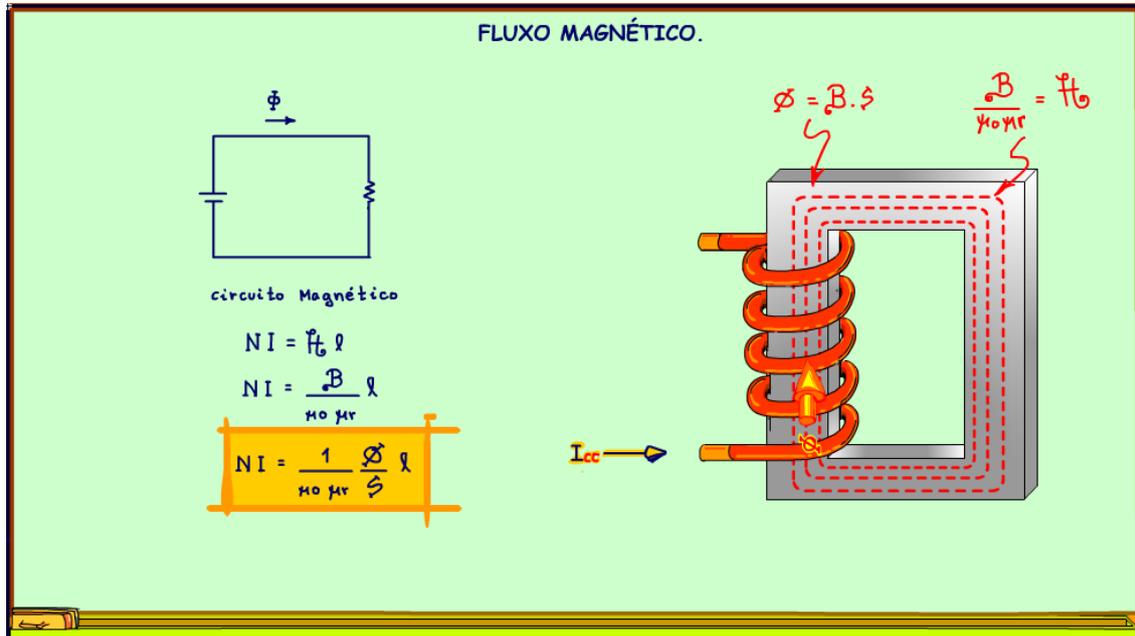


Figura 53

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Mas na prática, em aplicações em corrente contínua e até ac, o núcleo não é fechado, ele é aberto, ali vai ser colocado a armadura do solenóide, o rotor do motor etc.

Veja como a abertura do núcleo muda tudo.

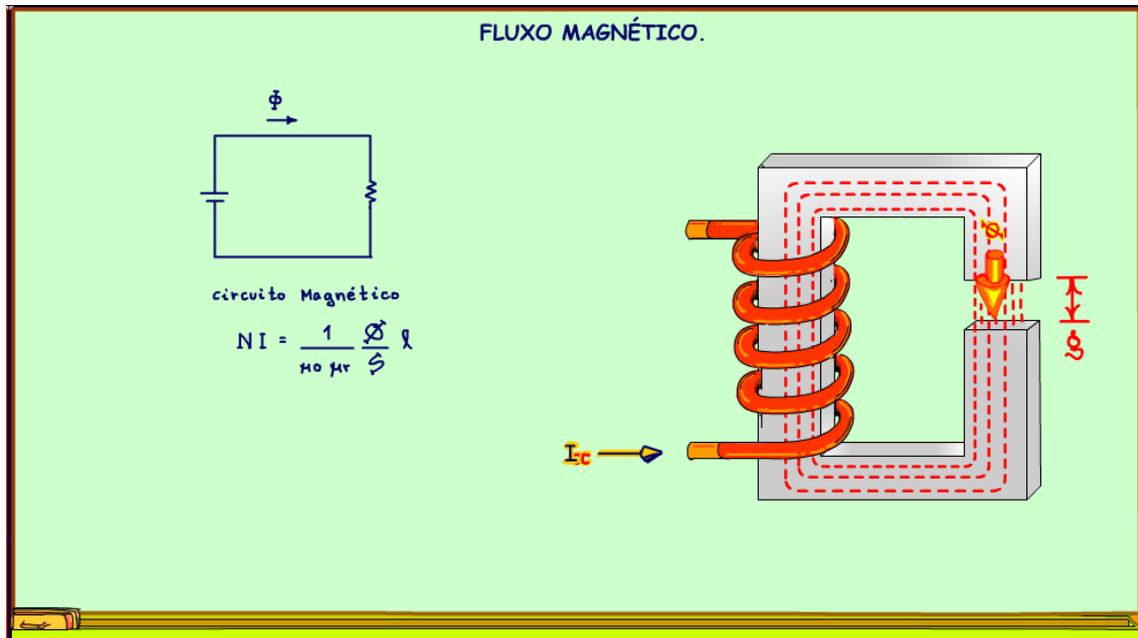


Figura 54

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Essa abertura se for pequena é chamada de gap e o fluxo magnético é constante dentro gap, isso é o fluxo que estava dentro do núcleo de ferro é o mesmo no gap.

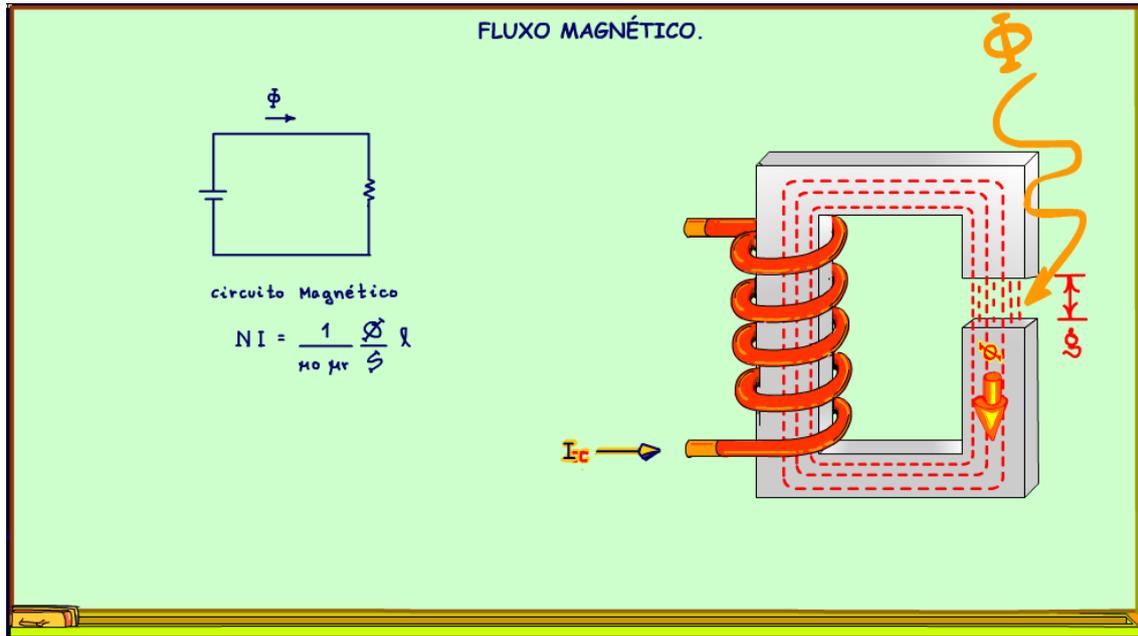


Figura 55

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Se o gap for muito grande o fluxo se dispersa, e as equações precisam ser ajustadas, mas isso você vai ver no momento apropriado.

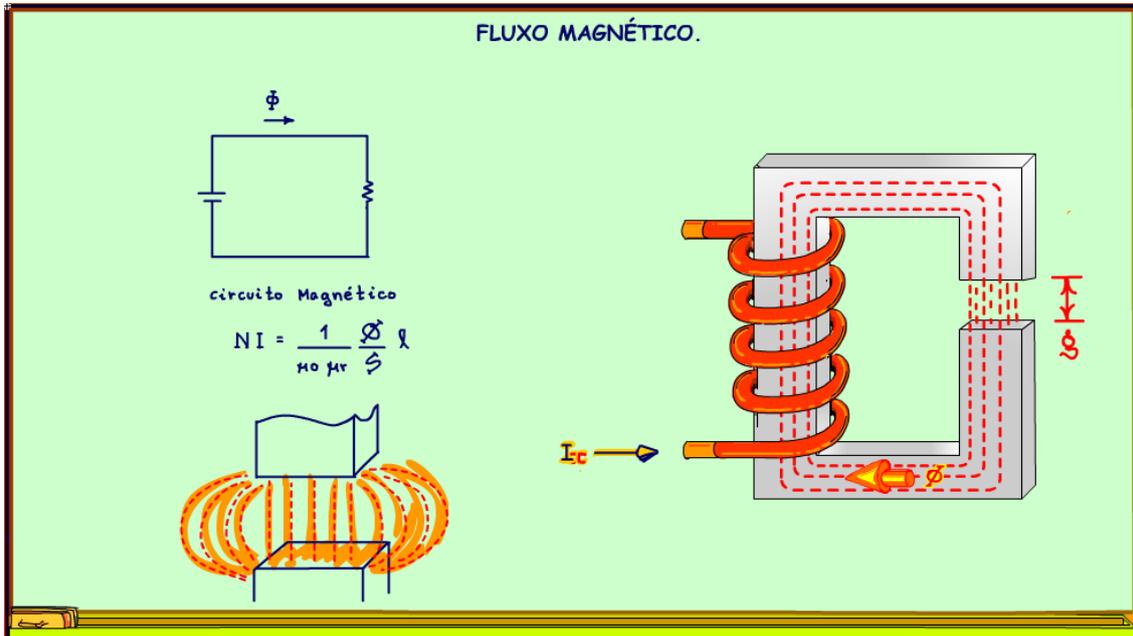


Figura 56

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Note que o gap altera o nosso circuito magnético, agora têm duas regiões com permeabilidades diferentes, o núcleo e o gap, então a Lei de Ampère deve ser ajustada.

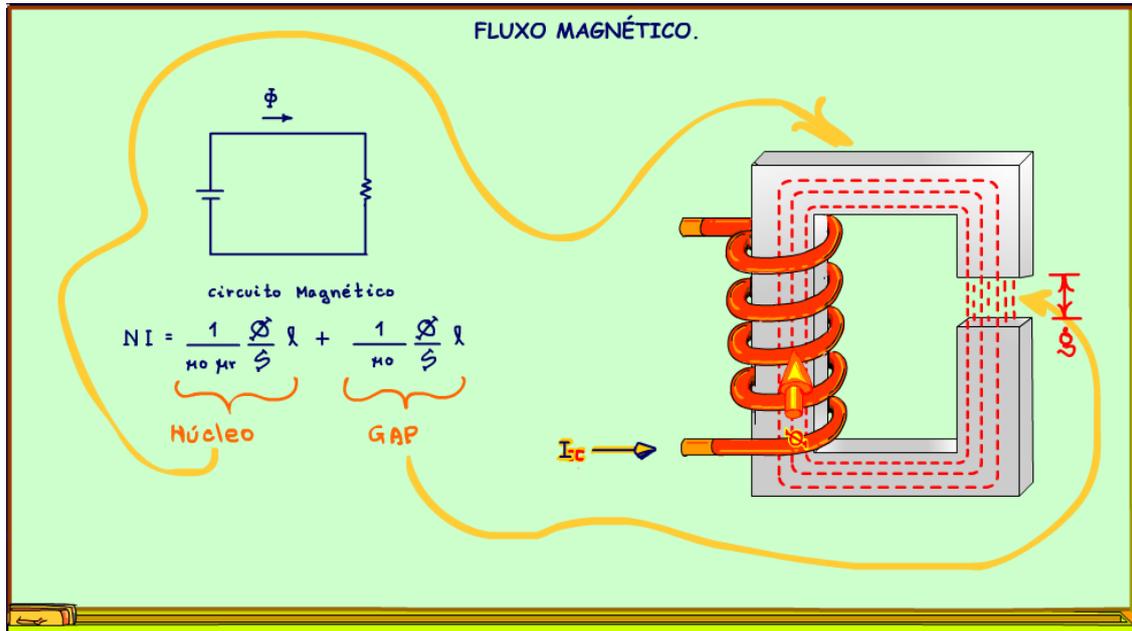


Figura 57

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O fluxo é constante é o mesmo ao longo de todo o circuito, então pode ser colocado em evidência, isso vai ser importante.

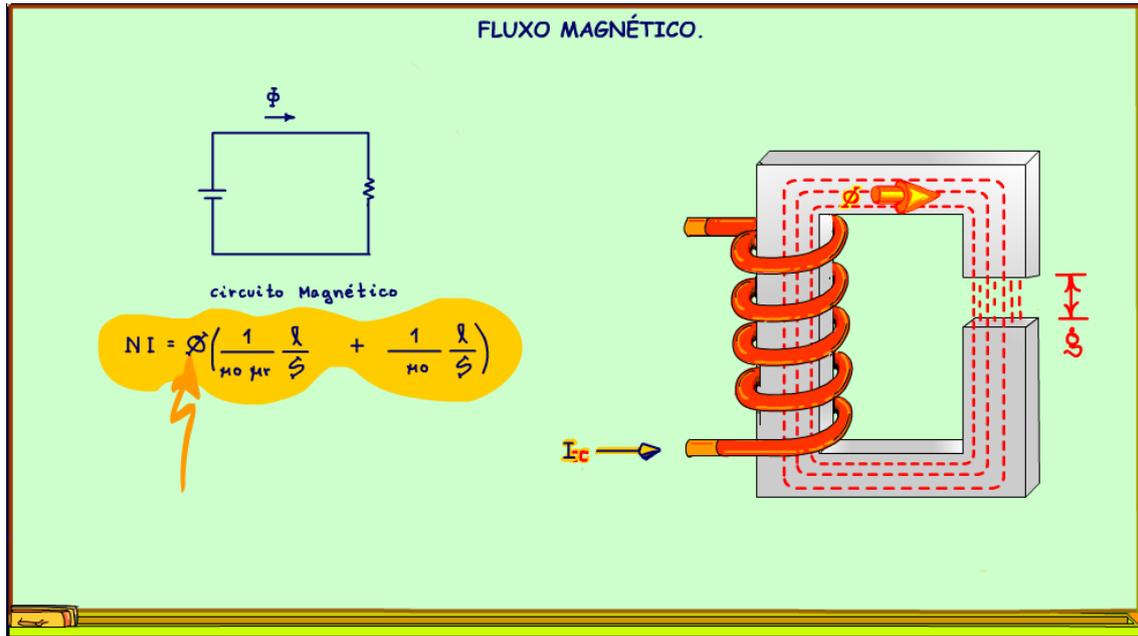


Figura 58

## 1.7 RELUTÂNCIA MAGNÉTICA

As parcelas entre parênteses são chamadas de relutâncias magnéticas, é uma espécie de resistência do circuito magnético.

Então existem nesse circuito magnético duas relutâncias em série, a do núcleo e a do gap.

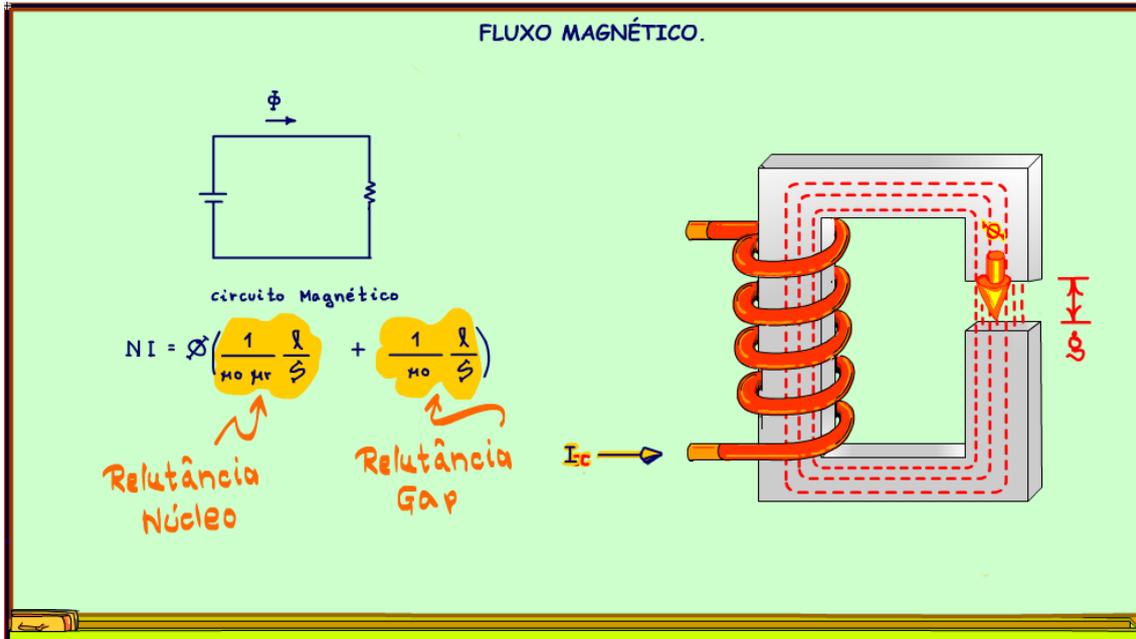


Figura 59

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

A relutância é descrita por essa letra "R", similar a resistência nos circuitos elétricos.

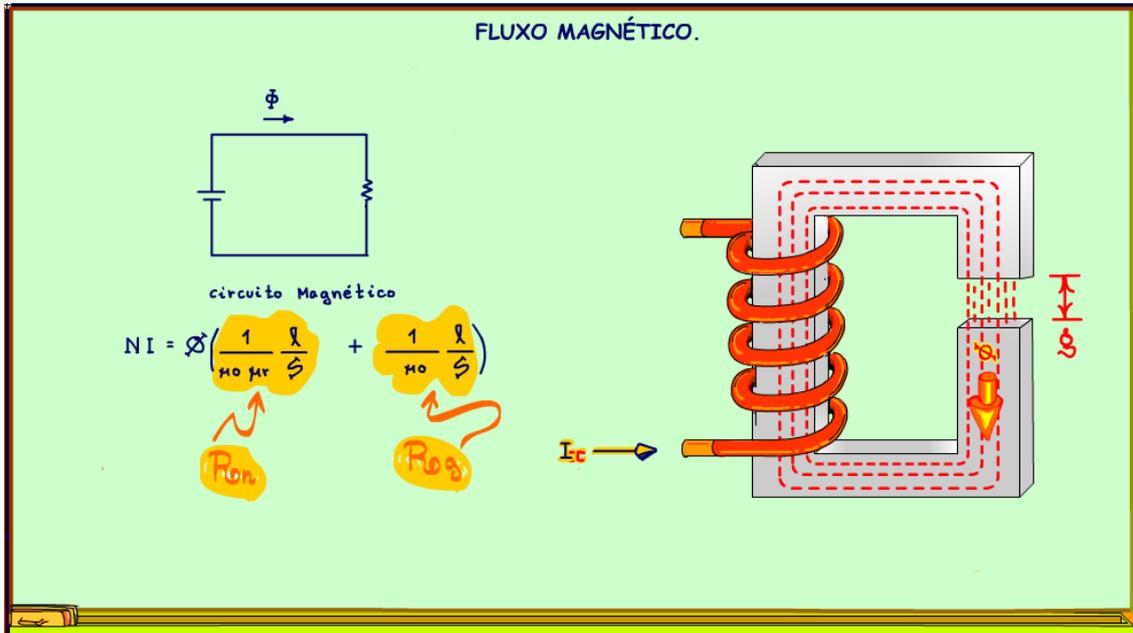


Figura 60



## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Agora observe que o termo da permeabilidade magnética do núcleo é muito grande, então, a relutância do núcleo é muito pequena em relação ao gap.

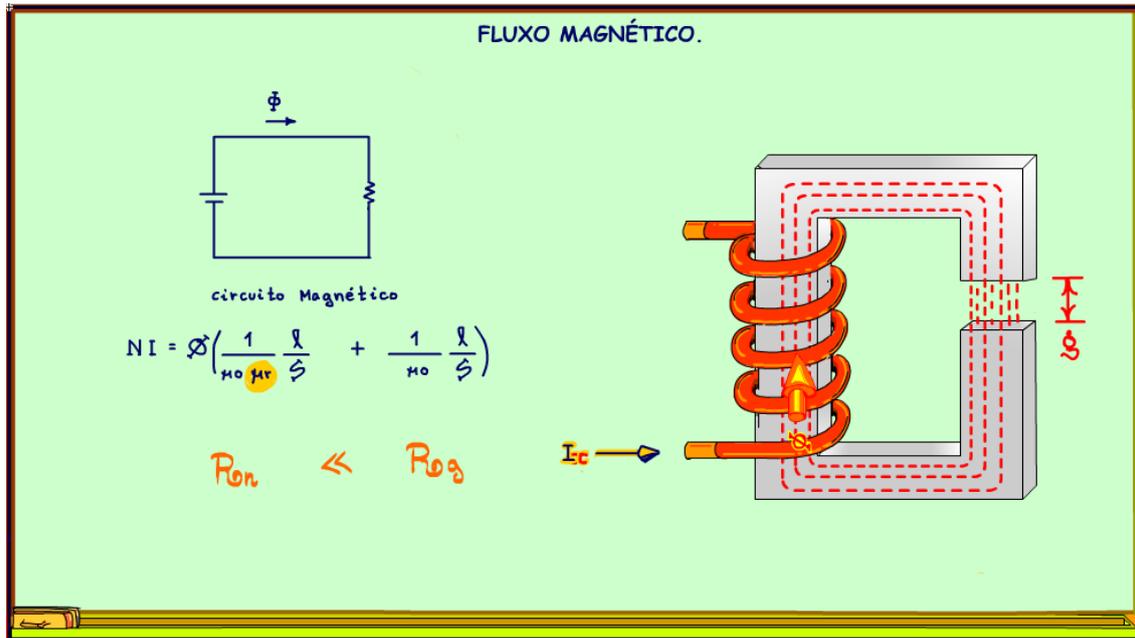


Figura 62

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Tão pequena que pode ser desprezada, tudo isso porque o gap não tem núcleo ferroso só ar.

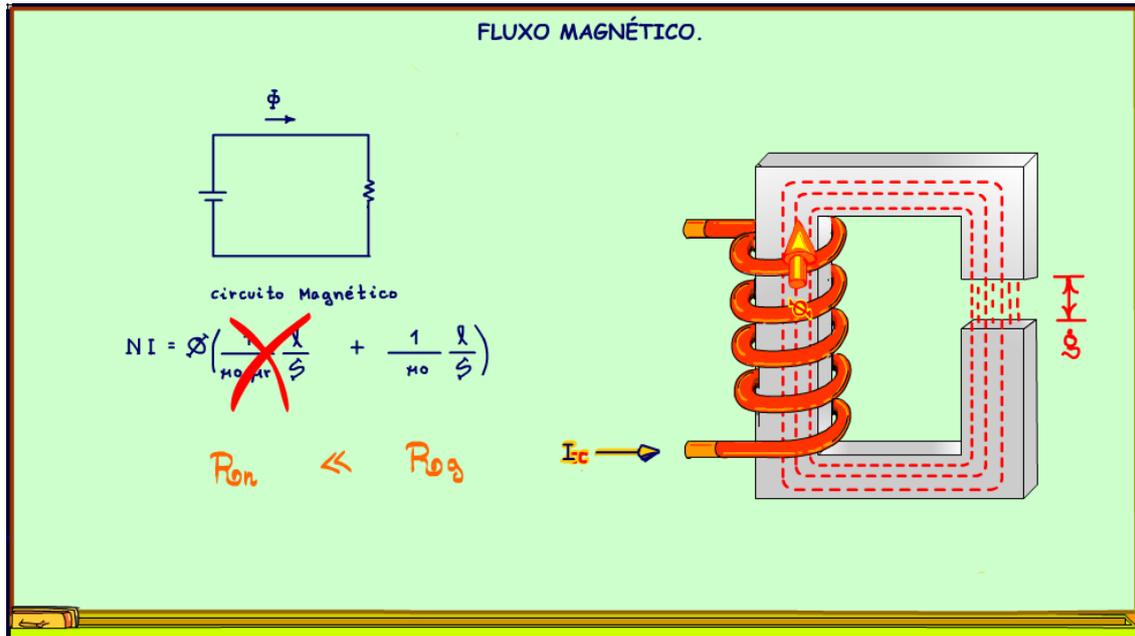


Figura 63

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Então, a equação do nosso circuito magnético fica bem mais simplificada.

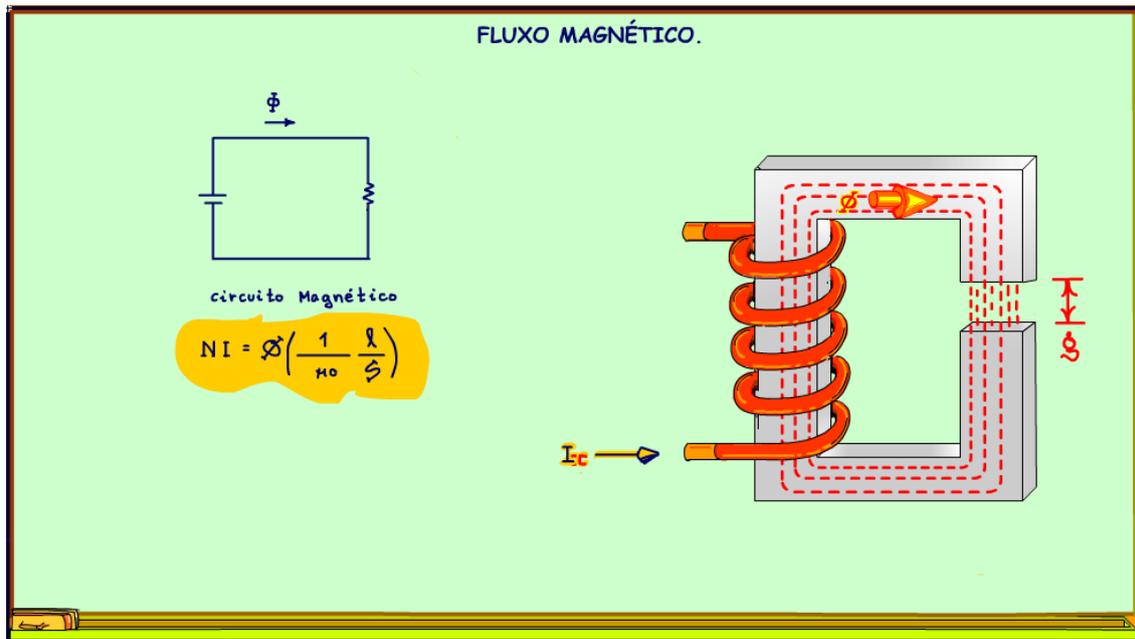


Figura 64

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

### 1.8 O CIRCUITO MAGNÉTICO.

Agora o nosso circuito magnético pode ser escrito como um circuito elétrico, onde a corrente é o fluxo e a resistência é a relutância.

Aí fica mais fácil para nós eletrônicos, não é mesmo?

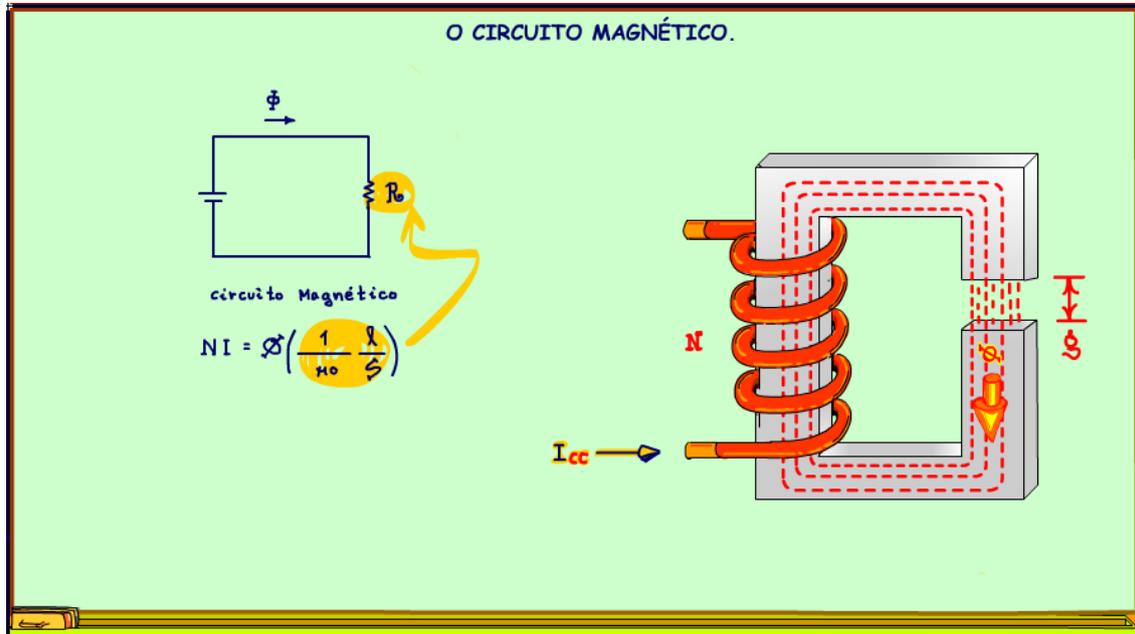


Figura 65

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O termo  $NI$  é chamado de força magneto motriz FMM e representa a fonte de energia elétrica a fonte de tensão no nosso circuito magnético.

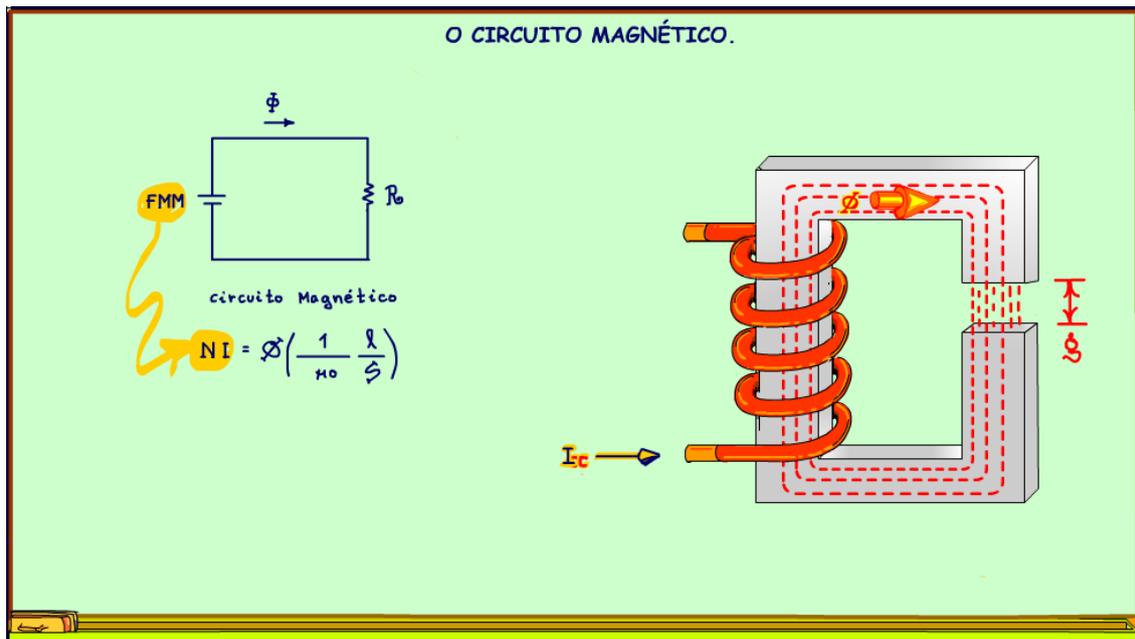


Figura 66

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

A unidade de força magneto motriz é Ampère, muito estranho não é mesmo?

Uma fonte de tensão com a unidade Ampère!

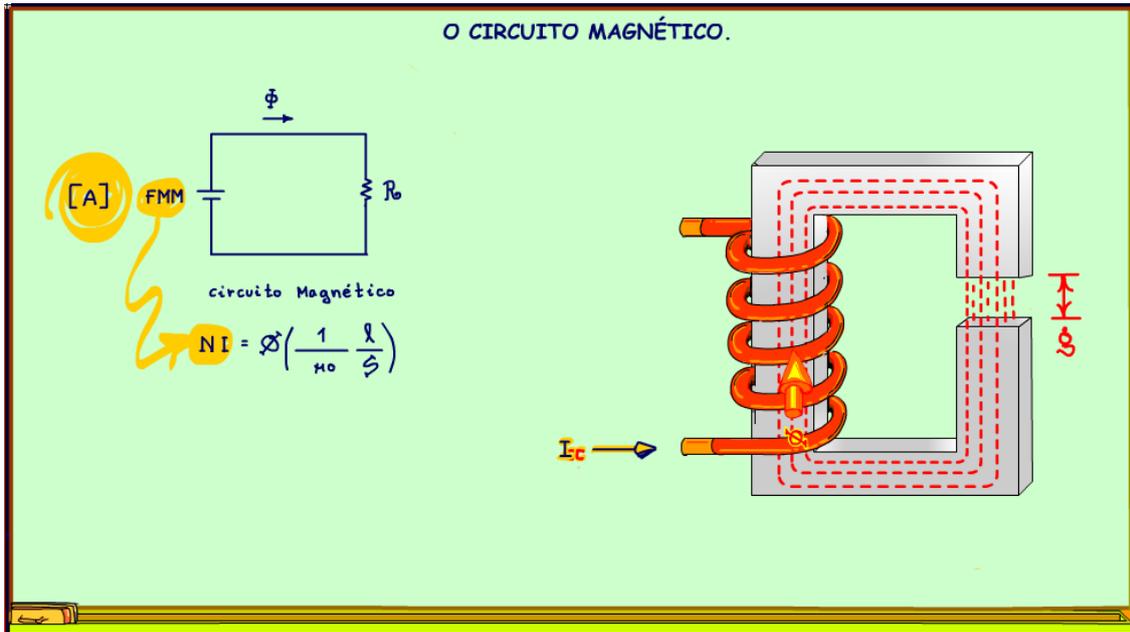


Figura 67

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Pronto, esse é o nosso circuito magnético, onde o condutor elétrico é o núcleo de ferro, relutância praticamente zero.

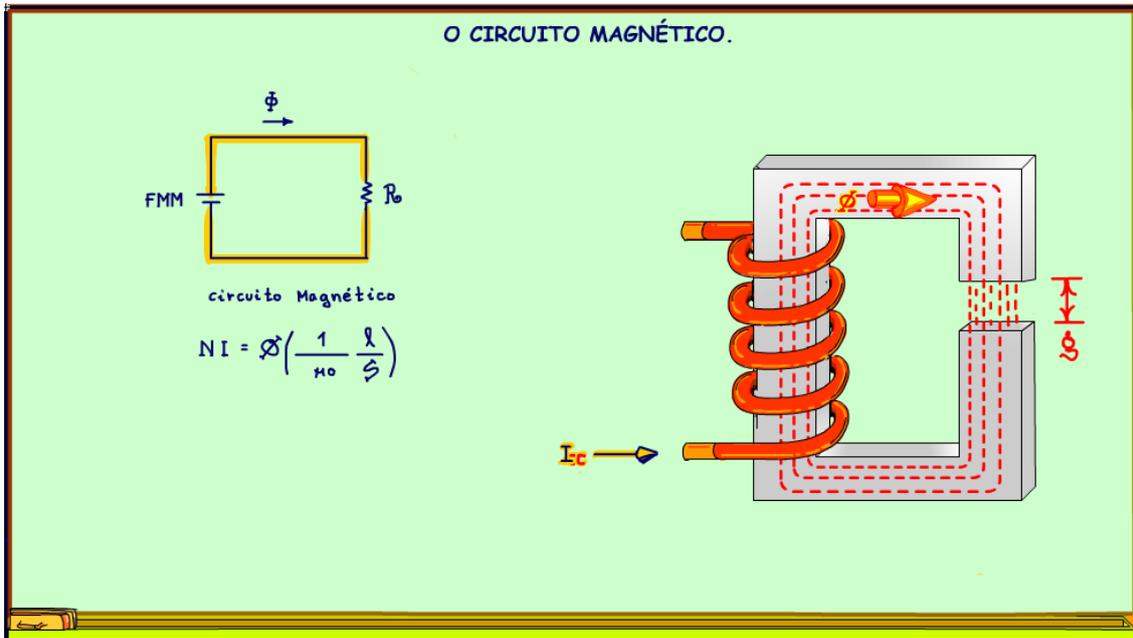


Figura 68

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

A corrente é representada pelo fluxo magnético, a força magneto motriz empurra a corrente para o circuito.

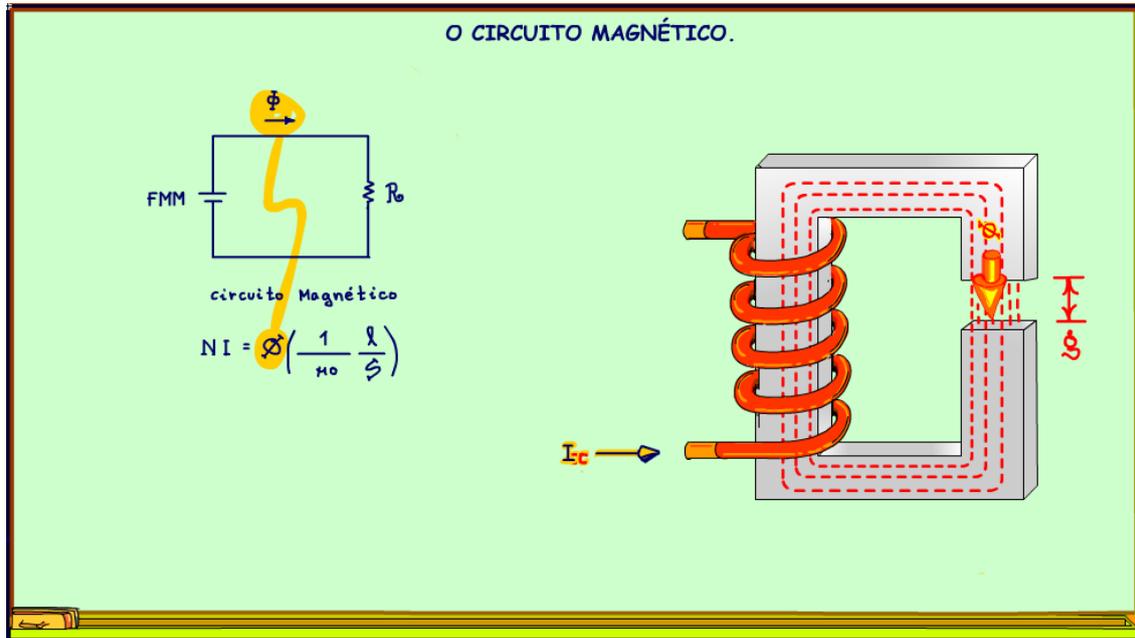


Figura 69

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

E a resistência representa a relutância que é função das características do gap, largura, área e permeabilidade.

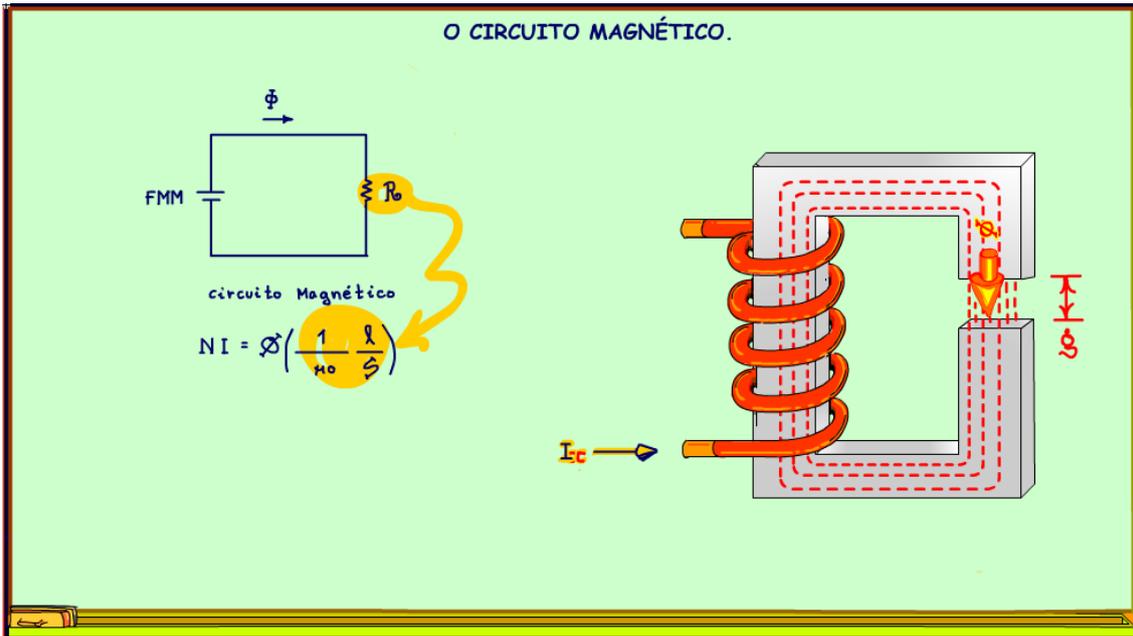


Figura 70

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

E agora o melhor de tudo.

A relutância tem a função de limitar, controlar a intensidade do fluxo magnético, exatamente como a resistência serve para limitar a corrente no circuito elétrico.

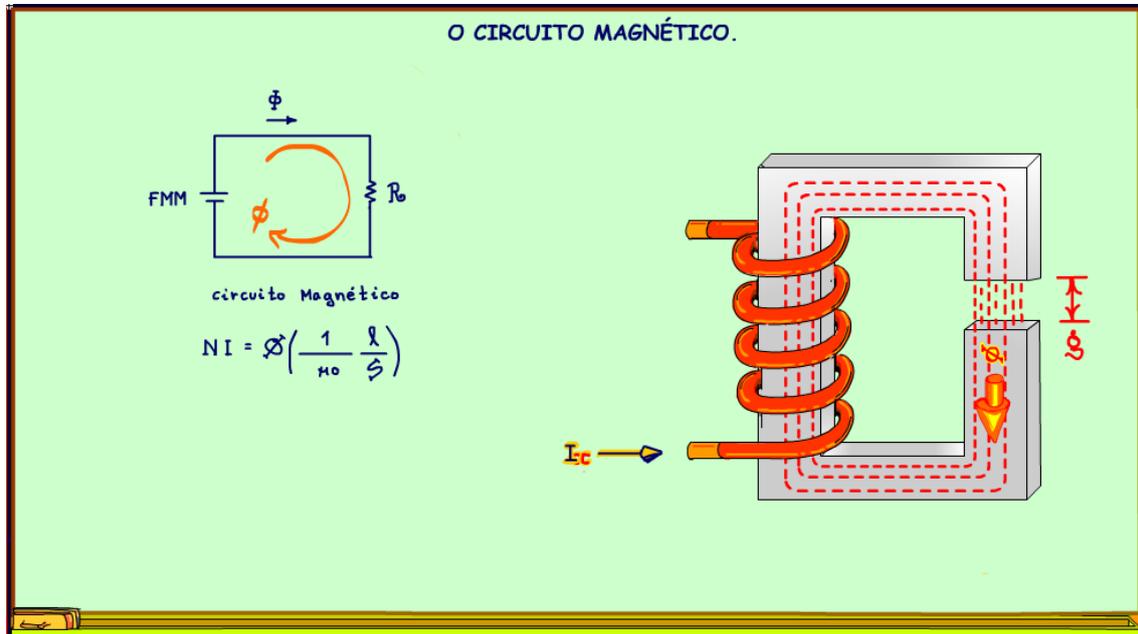


Figura 71

### 1.9 EXEMPLO.

Vamos fazer um exemplo para liquidar com a questão.

Esse exemplo está no famoso livro do Fitzgerald, que eu estudei lá na década de oitenta no século passado.

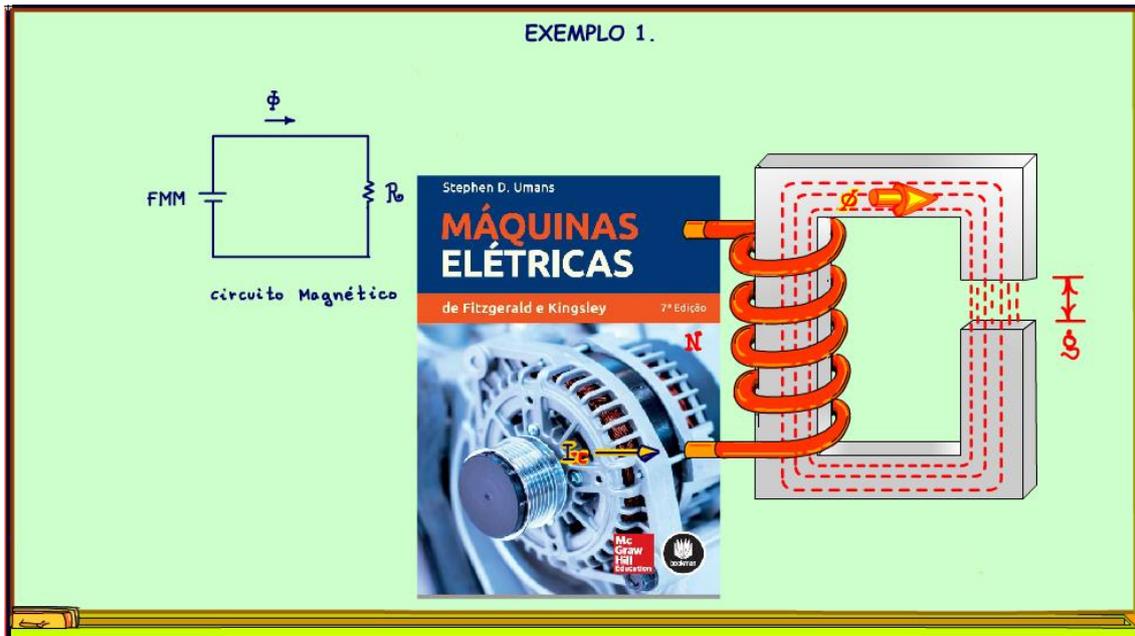


Figura 72

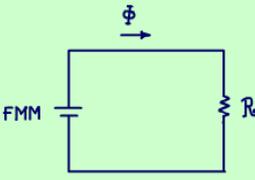
## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla?

Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla?  
Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!



circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1T$   
 $g = 0,05cm$   
 $S = 9cm^2$

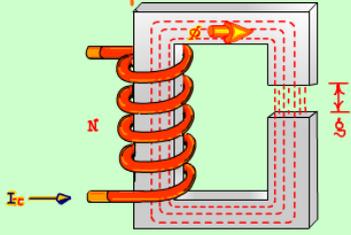


Figura 73

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

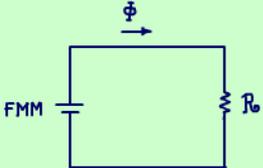
Veja a solução:

Como a relutância do núcleo é muito grande, ela pode ser desprezada, são os condutores do nosso circuito elétrico.

Primeiro vou calcular a relutância do gap.

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla? Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!



circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1T$   
 $g = 0,05cm$   
 $S = 9cm^2$

$$R_{g_s} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}}$$

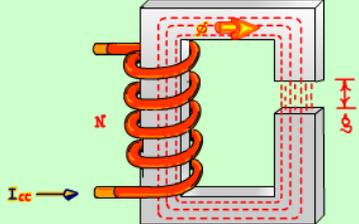


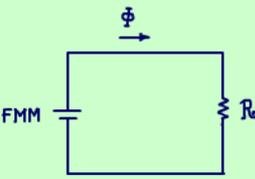
Figura 74

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O comprimento do gap é de 0,05 cm, uma fenda bem estreita, cuidado com a unidade, tudo deve ser escrito em metros.

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla? Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!



circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1\text{T}$   
 $g = 0,05\text{cm}$   
 $S = 9\text{cm}^2$

$$R_{\text{gap}} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}}$$

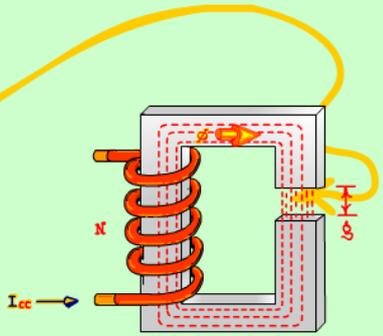


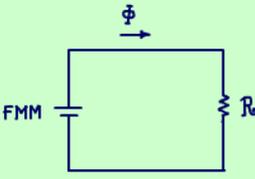
Figura 75

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

A área do núcleo é de 9 cm quadrados, olha a unidade deve ser metros também.

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla?  
 Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!



circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1T$   
 $g = 0,05cm$   
 $S = 9cm^2$

$$R_{lg} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \frac{0,05 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}}$$

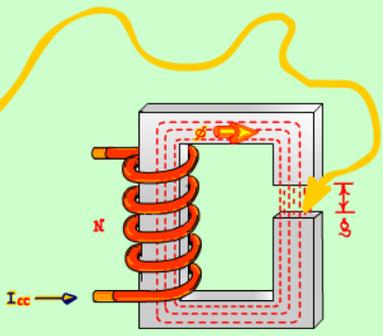


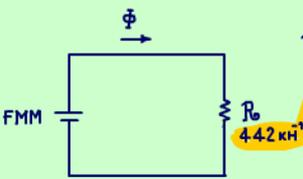
Figura 76

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Calculando dá 442 097 Henry na menos um, equivale a uma resistência de 442 K, parece um circuito elétrico viu como é fácil.

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla?  
 Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!



circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1T$   
 $g = 0,05cm$   
 $S = 9cm^2$

$$R_{g_0} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \cdot \frac{0,05cm}{9cm^2} = 442 kH^{-1}$$

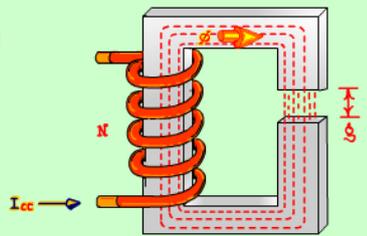


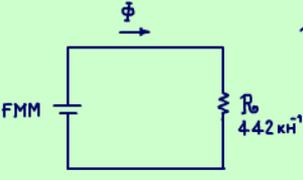
Figura 77

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Agora vou calcular o fluxo, a corrente do circuito, no caso é dado a indução magnética, então tem que calcular como descrito na figura, campo vezes a área, e note que a área está na unidade metros.

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla?  
 Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!



circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1T$   
 $g = 0,05cm$   
 $S = 9cm^2$

$$R_{b_g} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}} = 442 kH^{-1}$$

$$\phi = B \cdot S = 1T \cdot 9 \cdot 10^{-4} m^2 = 9 \cdot 10^{-4} Wb$$

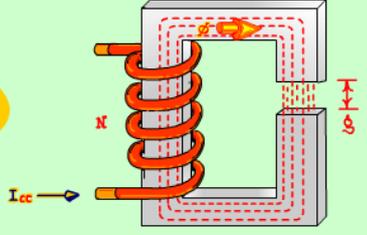


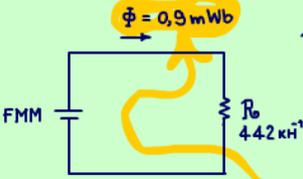
Figura 78

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O fluxo é igual 0,9 mWb, é melhor escrever nessas escalas como é feito nos circuitos elétricos, mA, kohm.

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla?  
 Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!



circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1\text{T}$   
 $g = 0,05\text{cm}$   
 $S = 9\text{cm}^2$

$$R_{l_g} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \frac{0,05 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}} = 442\text{ kH}^{-1}$$

$$\phi = B \cdot S = 1\text{T} \cdot 9 \cdot 10^{-4}\text{m}^2 = 9 \cdot 10^{-4}\text{ Wb}$$

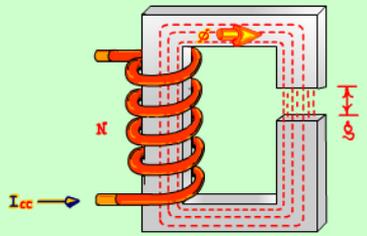


Figura 79

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

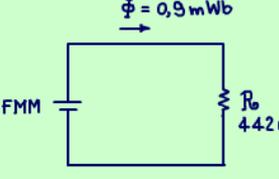
Agora é só usar lei de OHM para achar a tensão, a Força Magneto Motriz.

O fluxo vezes a relutância, note que eu mantive as unidades similar a um circuito elétrico mA e K OHM, tudo bem familiar.

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla?  
 Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!

$\Phi = 0,9 \text{ mWb}$



circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1 \text{ T}$   
 $g = 0,05 \text{ cm}$   
 $S = 9 \text{ cm}^2$

$$R_{b_g} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \frac{0,05 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}} = 442 \text{ kH}^{-1}$$

$$\Phi = B \cdot S = 1 \text{ T} \cdot 9 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

$FMM = \Phi \cdot R_b = 0,9 \text{ m} \cdot 442 \text{ k}$

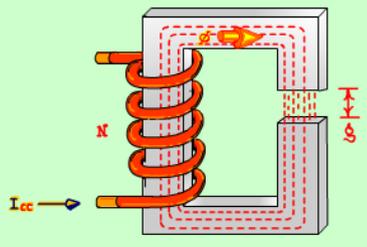


Figura 80

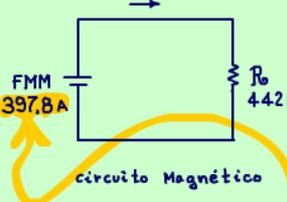
## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

O produto dá 397,8 A, veja que estranho a tensão magnética, a força magnetomotriz é dada em ampères.

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla?  
 Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!

$\Phi = 0,9 \text{ mWb}$



$R_b = 442 \text{ kH}^{-1}$

$FMM = 397,8 \text{ A}$

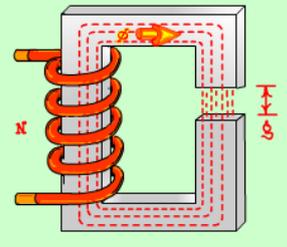
circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1 \text{ T}$   
 $g = 0,05 \text{ cm}$   
 $S = 9 \text{ cm}^2$

$$R_{b_g} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}} = 442 \text{ kH}^{-1}$$

$$\Phi = B \cdot S = 1 \text{ T} \cdot 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$FMM = \Phi \cdot R_b = 0,9 \text{ m} \cdot 442 \text{ k} = 397,8 \text{ A}$$



$I_{cc}$

Figura 81

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

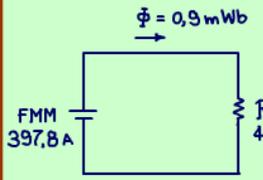
Mas cuidado, essa é a força magneto motriz não a corrente no circuito, para achar a corrente tem que dividir pelo número de espiras.

A corrente na bobina deverá ser de 0,79A para gerar um campo de 1T, muito simples não é mesmo.

**EXEMPLO 1.**

1) No circuito magnético da figura encontre a corrente que irá gerar um campo de indução magnética de 1 Tesla?  
 Considere a relutância do núcleo igual a 70000, o número de espiras igual a 500, a espessura do gap igual a 0,05cm e a seção do núcleo igual a 9cm<sup>2</sup>!

$\Phi = 0,9 \text{ mWb}$



circuito Magnético

$N = 500$   
 $B_m = 1 \text{ T}$   
 $g = 0,05 \text{ cm}$   
 $S = 9 \text{ cm}^2$

$$R_{b_g} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}} = 442 \text{ kH}^{-1}$$

$$\Phi = B_m \cdot S = 1 \text{ T} \cdot 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\text{FMM} = \Phi \cdot R_b = 0,9 \text{ m} \cdot 442 \text{ k} = 397,8 \text{ A}$$

$\text{FMM} = N \cdot I_{cc} \Rightarrow I_{cc} = \frac{\text{FMM}}{N} = \frac{397,8 \text{ A}}{500} = 0,79 \text{ A}$

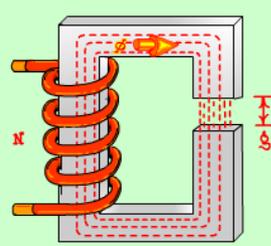


Figura 82

### 1.10 EXEMPLO 2.

Pensando como um circuito fica fácil responder perguntas como.

2) Se eu diminuir a largura do gap pela metade 0,025 cm, qual o novo valor de corrente eu devo ajustar na bobina para manter o fluxo de 0,9mWb?

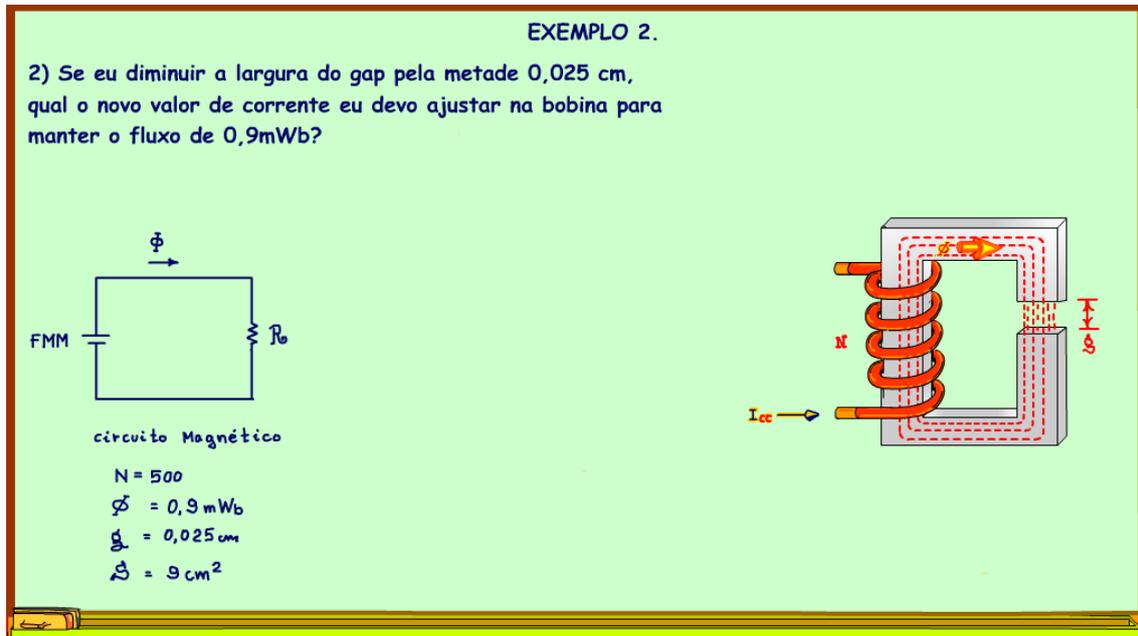


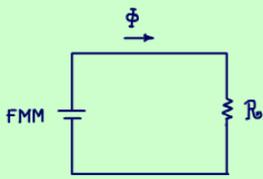
Figura 83

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Olhando como circuito fica fácil, diminuir o gap significa diminuir a relutância do circuito, a resistência a passagem do fluxo.

**EXEMPLO 2.**

2) Se eu diminuir a largura do gap pela metade 0,025 cm, qual o novo valor de corrente eu devo ajustar na bobina para manter o fluxo de 0,9mWb?



circuito Magnético

$N = 500$   
 $\Phi = 0,9 \text{ mWb}$   
 $g = 0,025 \text{ cm}$   
 $S = 9 \text{ cm}^2$

$$R_{b_g} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{l}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \cdot \frac{0,025 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}} = 221 \text{ kH}^{-1}$$

$FMM = \Phi \cdot R_b = 0,9 \text{ m} \cdot 221 \text{ k} = 198,9 \text{ A}$

$FMM = N \cdot I_{cc} \Rightarrow I_{cc} = \frac{FMM}{N} = \frac{198,9 \text{ A}}{500} = 0,395 \text{ A}$

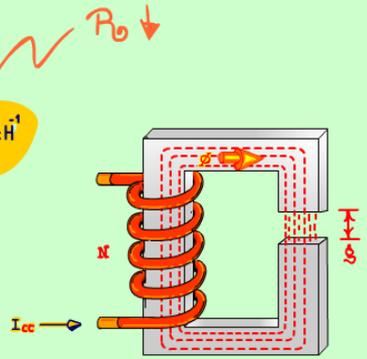


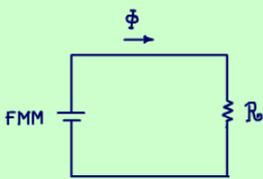
Figura 84

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Então, se a resistência diminui a tensão tem que diminuir para manter a mesma corrente, aqui a força magneto motriz tem que diminuir.

**EXEMPLO 2.**

2) Se eu diminuir a largura do gap pela metade 0,025 cm, qual o novo valor de corrente eu devo ajustar na bobina para manter o fluxo de 0,9mWb?



circuito Magnético

$N = 500$   
 $\Phi = 0,9 \text{ mWb}$   
 $g = 0,025 \text{ cm}$   
 $S = 9 \text{ cm}^2$

$$R_{b_g} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \frac{0,025 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}} = 221 \text{ kH}^{-1}$$

FMM ↓

FMM =  $\Phi \cdot R_b = 0,9 \text{ m} \cdot 221 \text{ k} = 198,9 \text{ A}$

⚡

$$\text{FMM} = N \cdot I_{cc} \Rightarrow I_{cc} = \frac{\text{FMM}}{N} = \frac{198,9 \text{ A}}{500} = 0,395 \text{ A}$$

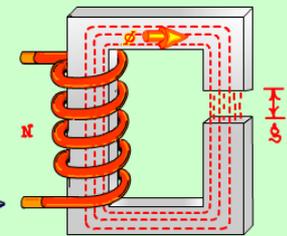


Figura 85

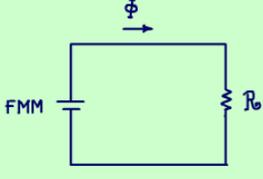
## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Se o número de espiras da bobina não mudar, você vai precisar alimentar essa bobina com menos corrente!

Agora parece que tudo ficou bem claro.

**EXEMPLO 2.**

2) Se eu diminuir a largura do gap pela metade 0,025 cm, qual o novo valor de corrente eu devo ajustar na bobina para manter o fluxo de 0,9mWb?

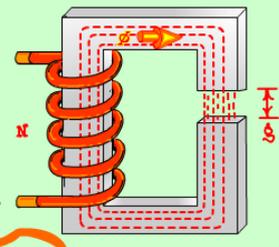


circuito Magnético

$N = 500$   
 $\Phi = 0,9 \text{ mWb}$   
 $g = 0,025 \text{ cm}$   
 $S = 9 \text{ cm}^2$

$$R_{\text{gap}} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g}{S} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \frac{0,025 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-4}} = 221 \text{ kH}^{-1}$$

$$FMM = \Phi \cdot R_{\text{gap}} = 0,9 \text{ m} \cdot 221 \text{ k} = 198,9 \text{ A}$$



$$FMM = N \cdot I_{cc} \Rightarrow I_{cc} = \frac{FMM}{N} = \frac{198,9 \text{ A}}{500} = 0,395 \text{ A}$$

Figura 86

### 1.11 CONCLUSÃO.

E aqui está o resumo de tudo que você precisa saber sobre eletromagnetismo para trabalhar com máquina DC.

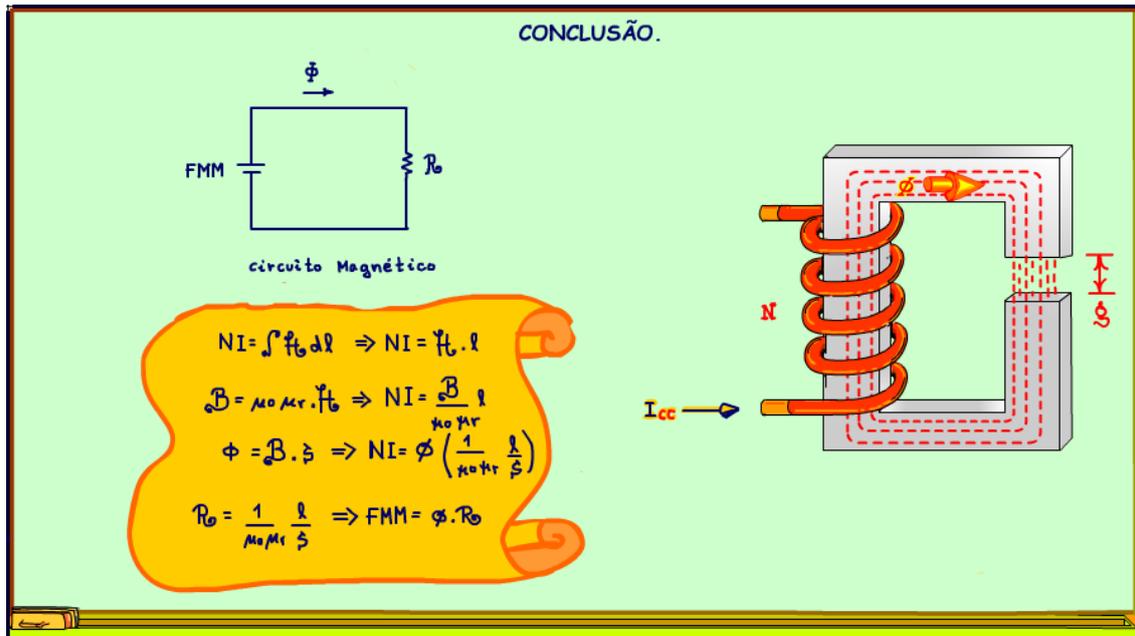


Figura 87

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Tudo começou lá na Lei de Ampère.

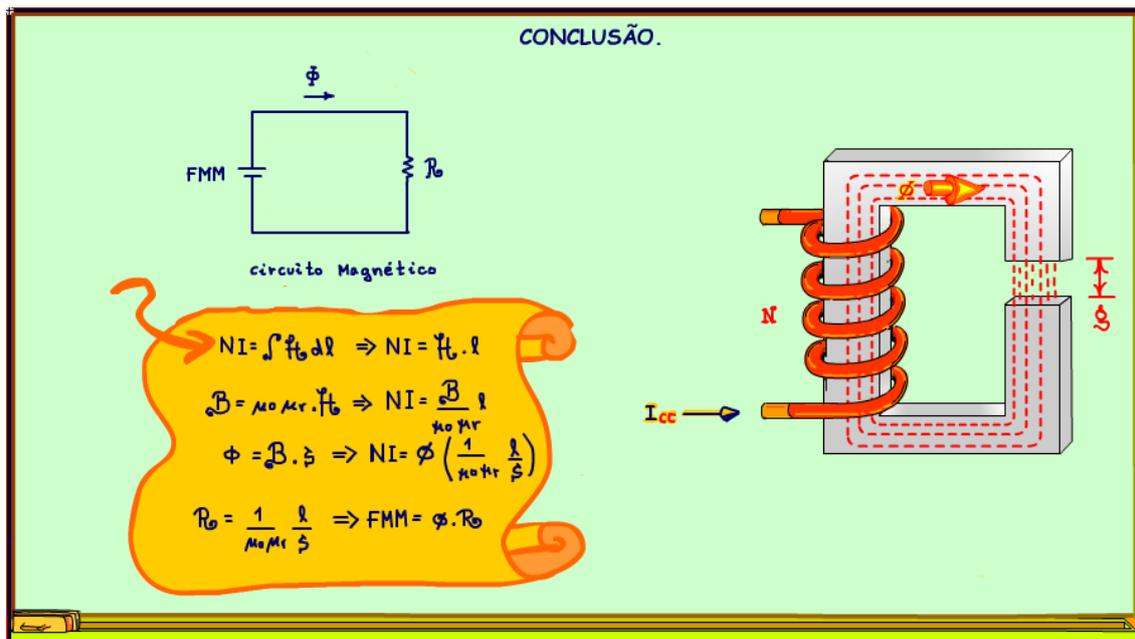


Figura 88

## Eletromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Que foi se adaptando, simplificando para dispositivos com núcleo de ferro.

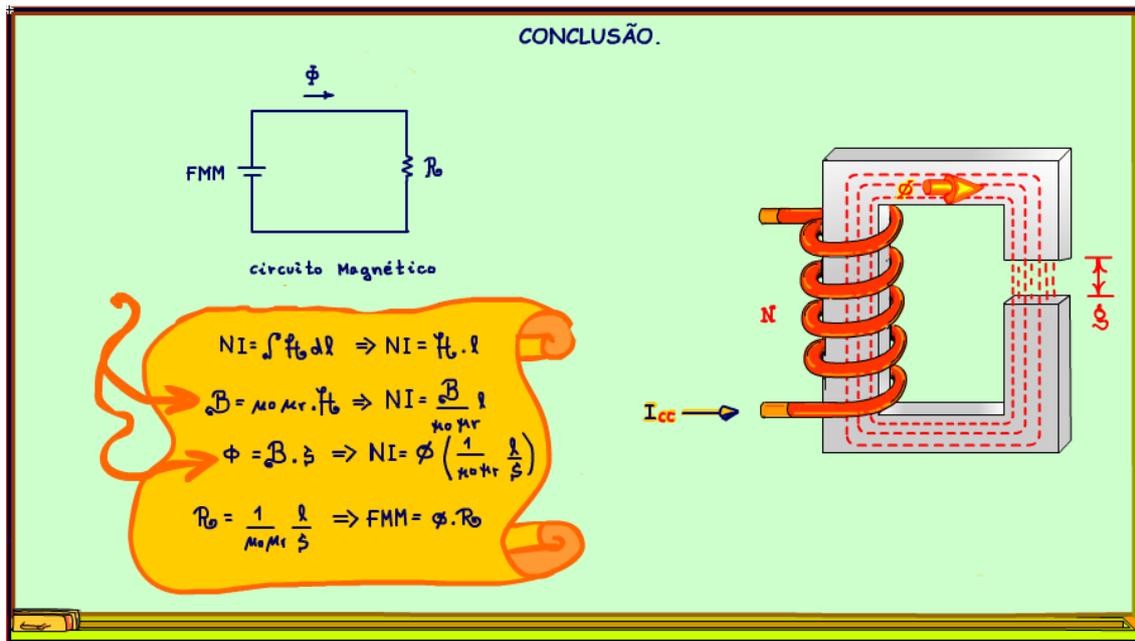


Figura 89

## Eletrromagnetismo: Lei de Ampère e Relutância magnética.

Até chegar no circuito magnético, que é a mesma Lei de Ampère ajustada para nós técnicos eletrônicos.

Nos próximos tutoriais vou mostrar o efeito de alimentar esse circuito magnético com uma corrente AC.

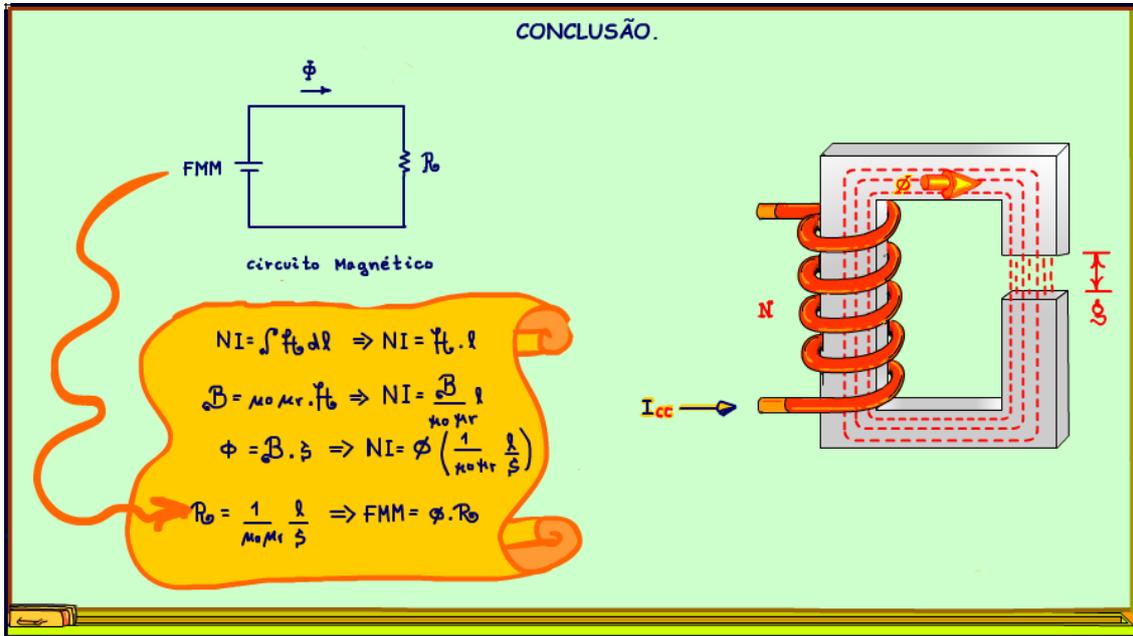


Figura 90



## 1.12 CRÉDITOS

E por favor, se você não é inscrito, se inscreva e marque o sininho para receber as notificações do canal e não esqueça de deixar aquele like e compartilhar para dar uma força ao canal do professor bairros.

**Arthurzinho: E não tem site.**

Tem sim é [www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com) lá você encontra o pdf e tutoriais sobre esse e outros assuntos da eletrônica

E fique atento ao canal do professor bairros para mais tutoriais sobre eletrônica, até lá!

The image shows a screenshot of the website [www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com). The website header includes the logo 'bairrospd' and the text 'BAIROS PROJETOS DIDÁTICOS E ELETRÔNICOS'. Below the header, there is a green banner that says 'ESTUDE ELETRÔNICA NO SITE WWW.BAIROSPD.COM!'. The main content area features a navigation menu with options like 'HOME', 'CURSOS', 'BIBLIOTECA', 'TUTORIAIS', 'VOCÊ SABIA?', and 'CONTATO'. A prominent yellow banner reads 'APRENDA A LER RESISTORES' and is accompanied by a cartoon illustration of a man working with a resistor. To the right, there is a search bar and a section titled 'O QUE SIGNIFICA GASTAR ENERGIA ELÉTRICA: Uma questão de Potência.'. At the bottom of the website, a blue banner says 'AULAS OU ACESSORIA COM O ENGENHEIRO E PROFESSOR ROBERTO BAIROS?' and a 'CLIQUE AQUI!' button. Overlaid on the right side of the screenshot is large green text that reads: 'VISITE O NOSSO SITE e CANAL YOUTUBE www.bairrospd.com Professor Bairros'.

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

[https://www.youtube.com/channel/UC\\_tfxnYdBh4IbiR9twtppA](https://www.youtube.com/channel/UC_tfxnYdBh4IbiR9twtppA)