

## 2.5- Indutores

É uma **bobina** composta por um **fio** condutor isolado (geralmente fio de cobre esmaltado) **enrolado** sobre **um núcleo de ar ou de material ferromagnético** (por exemplo, ferro doce ou ferrite).

Assim, a **Indutância de um Indutor** pode ser dada pela expressão:

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{\ell}$$

Onde:

$L$  - Indutância da bobina indutora, [Henry, H];

$A$  - área das espiras da bobina [metros quadrados,  $m^2$ ];

$\ell$  - comprimento longitudinal da bobina, [metros, m];

$\mu$  - permeabilidade magnética do meio no núcleo da bobina [Henry por metro, H/m];

$N$  - número de espiras

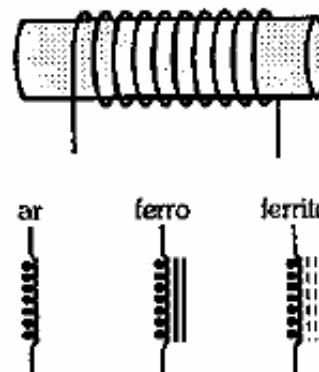
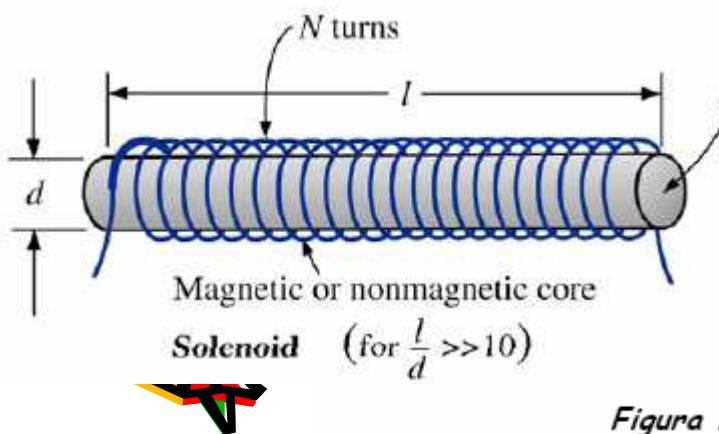


Figura 9.1 - Aparência e Símbolos dos Indutores (Fonte: Markus, 2001).

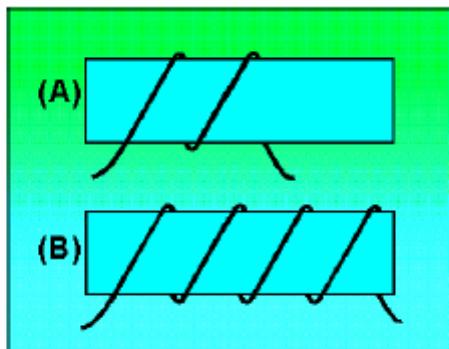


Figura 9.2 - indutor: (a) duas espiras; (b) quatro espiras.

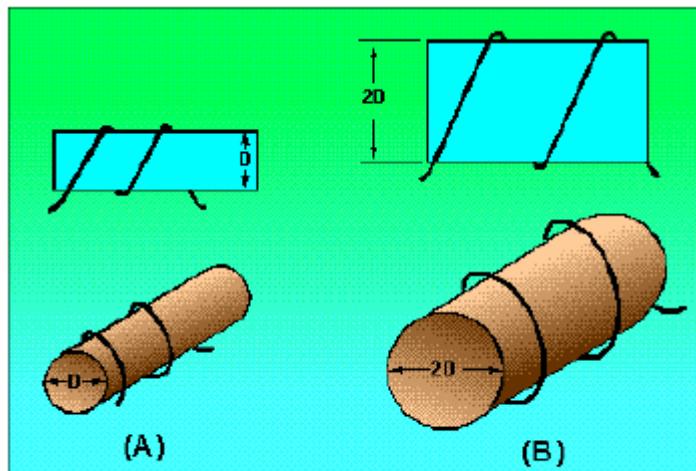


Figura 9.3 - indutor: (a) diâmetro  $D$ ; (b) diâmetro  $2D$ .

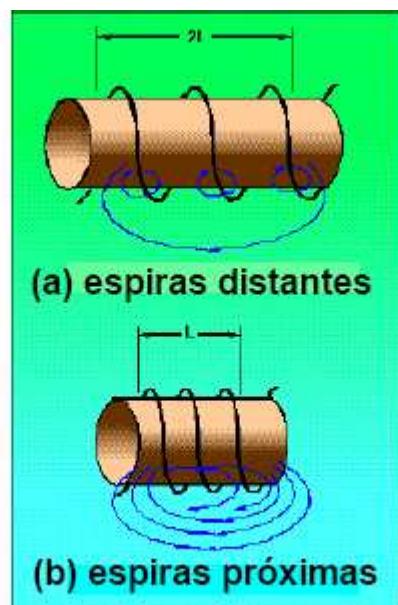


Figura 9.4 - indutor: (a) longo, bobinas espaçadas; (b) curto, bobinas próximas. gnetismo -  
Técnico em Eletromecânica

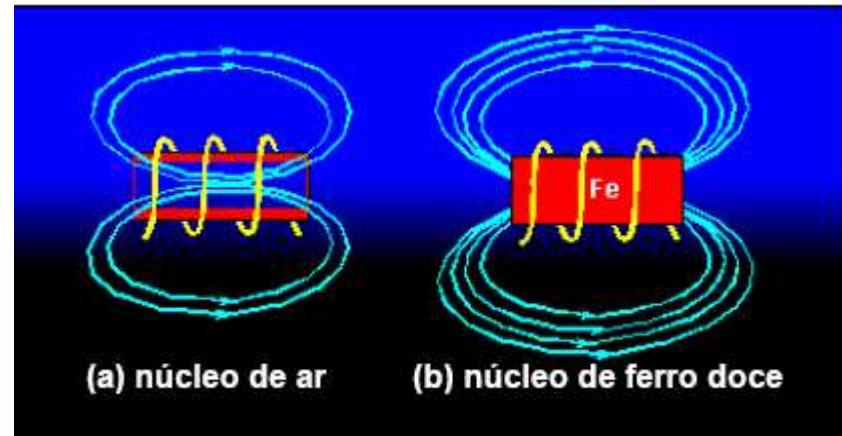
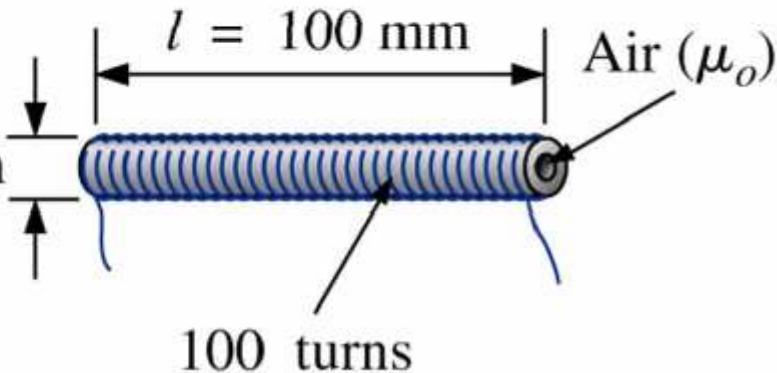


Figura 9.5 - tipo de núcleo: (a) ar; (b) ferro doce.

Exemplo 12.1: Determine a indutância da bobina de núcleo de ar da figura abaixo:

$$\mu_r = 1$$

$$d = 4 \text{ mm}$$

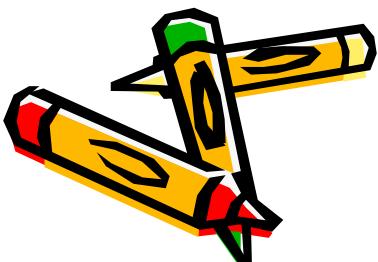


$$\mu = \mu_r \cdot \mu_o = 1 \cdot \mu_o = \mu_o$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2}{4}$$

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l}$$

$$A = 12,57 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad L = \frac{100^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 12,57 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 1,58 \mu\text{H}$$



## 2.5.1 - Especificações de indutores

Tabela 9.1											
Valores Múltiplos Padronizados de Indutores (em $\mu$ H)											
1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2

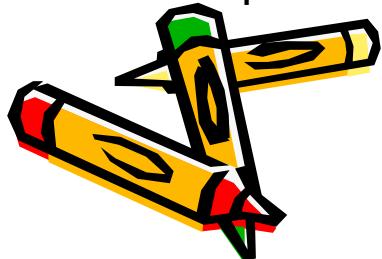
A **tolerância** dos indutores em geral varia entre  $\pm 1\%$  e  $\pm 20\%$ .

A **Resistência Ôhmica** é a resistência imposta pelo condutor do enrolamento do indutor.

A **capacidade de corrente** máxima que pode atravessar o indutor é função da **bitola** e das **características** do **condutor** utilizado.

**Tipos de indutores** tais como **axiais**, **radiais**, **toroidais**, **encapsulados** e **blindados**. Geralmente os **núcleos** são de **ferrite** e em alguns casos de **ferro**.

**Aplicações:** os indutores têm muitas aplicações entre elas circuitos de áudio, radiofreqüência (RF), circuitos de acionamento e controle, sensores, etc.



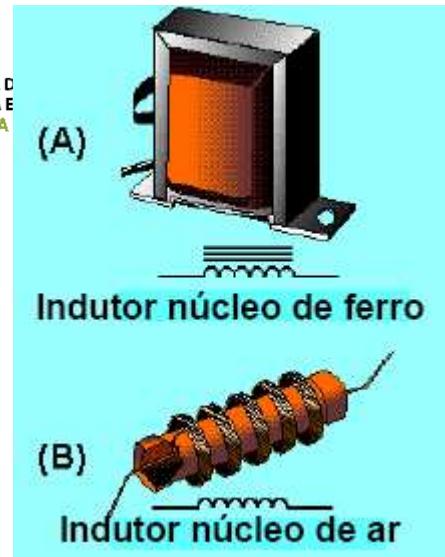


Figura 9.9 - Indutores: (a) núcleo de ferro; (b) núcleo de ar

## Indutores na prática

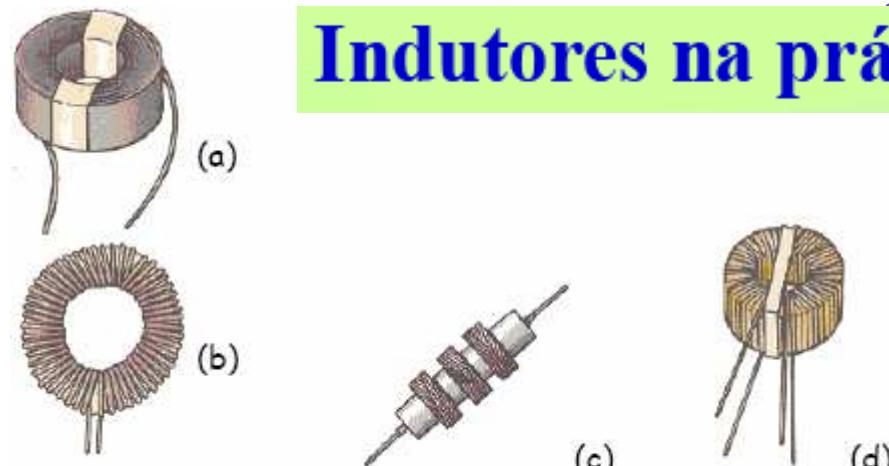


Figura 9.11 - tipos comuns de indutores (fonte: Boylestad)

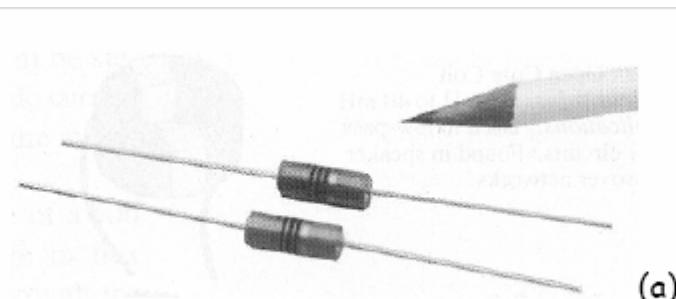
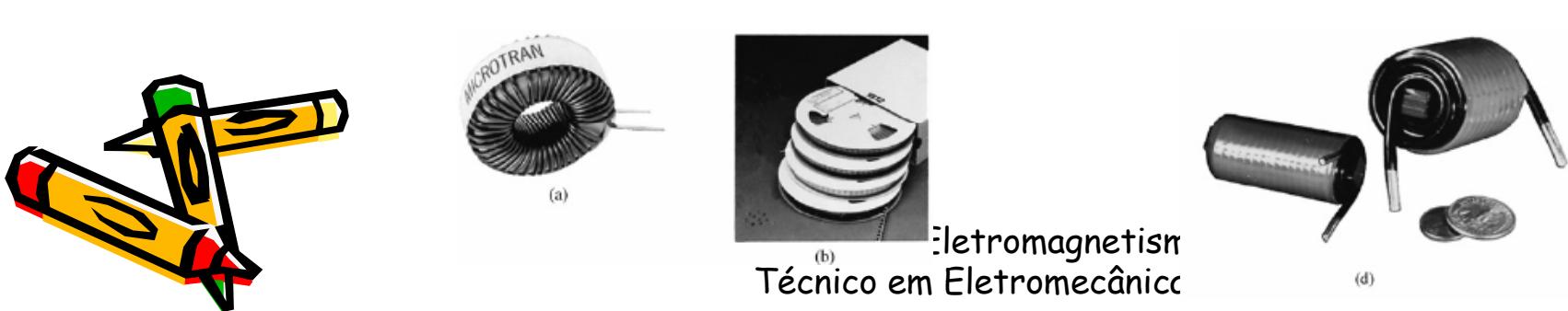


Figura 9.10 - tipos de indutores: (a) moldados axiais; (b) toroidais encapsulados; (c) núcleos de ar (fonte: Boylestad)



Eletromagnetism  
Técnico em Eletromecânica

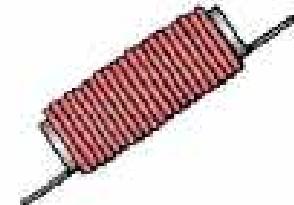
**Type:** Open Core Coil  
**Typical Values:** 3 mH to 40 mH  
**Applications:** Used in low-pass filter circuits. Found in speaker crossover networks.



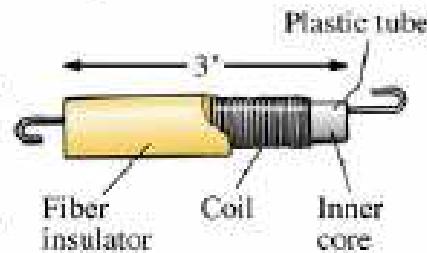
**Type:** Toroid Coil  
**Typical Values:** 1 mH to 30 mH  
**Applications:** Used as a choke in AC power lines circuits to filter transient and reduce EMI interference. This coil is found in many electronic appliances.



**Type:** Hash Choke Coil  
**Typical Values:** 3  $\mu$ H to 1 mH  
**Applications:** Used in AC supply lines that deliver high currents.



**Type:** Delay Line Coil  
**Typical Values:** 10  $\mu$ H to 50  $\mu$ H  
**Applications:** Used in color televisions to correct for timing differences between the color signal and black and white signal.



**Type:** Common Mode Choke Coil  
**Typical Values:** 0.6 mH to 50 mH  
**Applications:** Used in AC line filters, switching power supplies, battery charges and other electronic equipment.



**Type:** RF Chokes  
**Typical Values:** 10  $\mu$ H to 50  $\mu$ H  
**Applications:** Used in radio, television, and communication circuits. Found in AM, FM, and UHF circuits.



**Type:** Molted Coils  
**Typical Values:** 0.1  $\mu$ H to 100  $\mu$ H  
**Applications:** Used in a wide variety of circuit such as oscillators, filters, pass-band filters, and others.



**Type:** Surface Mounted Inductors  
**Typical Values:** 0.01  $\mu$ H to 100  $\mu$ H  
**Applications:** Found in many electronic circuits that require miniature components on multilayered PCB.



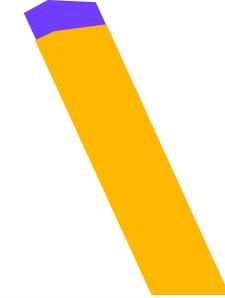
**Type:** Adjustable RF Coil  
**Typical Values:** 1  $\mu$ H to 100  $\mu$ H  
**Applications:** Variable inductor used in oscillators and various RF circuits such as CB transceivers, televisions, and radios.





TECNICO EM ELETROMECANICA

## 2.5.2- Associação de indutores



$$\text{Série: } L_{EQ} = \sum_{i=1}^n L_i$$

Onde:

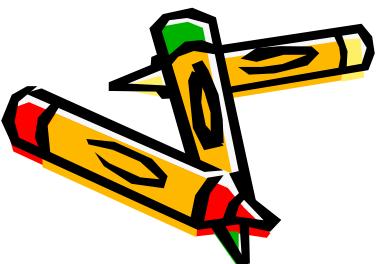
$L_{EQ}$  - Indutância equivalente da associação, [Henry, H];

$L_i$  - i-ésima indutância, [Henry, H];

$n$  - número de indutâncias da associação.

A Indutância equivalente de uma associação em paralelo de  $n$  indutores é obtida pelo inverso da somatória dos inversos das i-ésimas indutâncias da associação:

$$\text{Paralelo: } \frac{1}{L_{EQ}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{L_i} \right)$$



## 2.5.3- Teste de indutores:

As principais **falhas** nos indutores são:

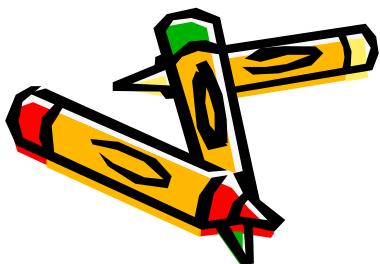
- **Curtos-circuitos** ocorridos **entre os enrolamentos** das bobinas.

VERIFICAR: Se soubermos a resistência série da bobina e esta for muito diferente da medida, está em curto. Ou com o multímetro, se houver continuidade entre a bobina e o núcleo.

- **Circuitos abertos** devido a fatores como **excessos de correntes, sobre-aquecimentos** e tempo de uso.

VERIFICAR com ohmímetro ou teste de continuidade: se a **resistência** for muito **alta** ou **não houver continuidade**, o circuito está aberto.

A indutância pode ser medida com uma **ponte LCR** (mede Indutância, Capacitância e Resistência).



## 2.5.4- Projeto simplificado de indutores

Bobinas longas:

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{\ell}$$



$$N = \sqrt{\frac{L \cdot \ell}{\mu \cdot A}}$$

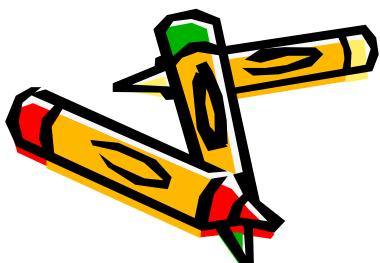
N - número de espiras da bobina indutora

L - Indutância da bobina indutora, [Henry, H];

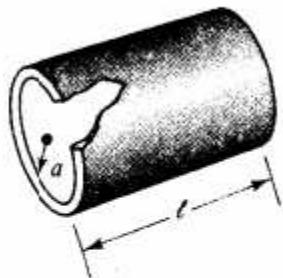
A - área das espiras da bobina (área do núcleo), [metro quadrado, m<sup>2</sup>];

ℓ - comprimento longitudinal da bobina, [metro, m];

μ - permeabilidade magnética do meio no núcleo da bobina [Henry por metro, H/m];



## Bobina de camada única com núcleo de ar:



$$N = \sqrt{\frac{L \cdot (9 \cdot a + 10 \cdot l)}{39,5 \cdot a^2}}$$

N - número de espiras da bobina indutora;

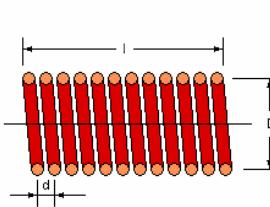
L - indutância desejada para o indutor, [Micro Henry,  $\mu\text{H}$ ];

$l$  - comprimento longitudinal da bobina [metro, m];

a - raio do núcleo (raio das espiras), [metro, m]

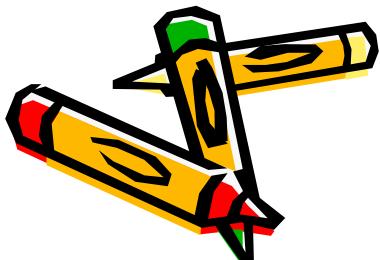
### Single-Layer Air Coil Calculator

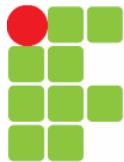
Enter L, D and d (all three are required) to calculate I and N.



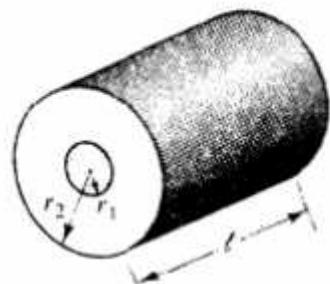
Inductance (L):	<input type="text"/>	nH
Coil Diameter (D):	<input type="text"/>	inches
Wire Diameter (Turn Step) (d):	<input type="text"/>	inches
<input type="button" value="Calculate"/>		<input type="button" value="Clear Form"/>
Coil Length (l):	<input type="text"/>	inches
Number of Turns (N):	<input type="text"/>	

<http://www.pronine.ca/coilcal.htm>





## Bobina de diversas camadas com núcleo de ar:



$$N = \sqrt{\frac{L \cdot (6r_1 + 9l + 10(r_2 - r_1))}{31,6 \cdot r_1^2}}$$

N - número de espiras da bobina indutora;

L - indutância desejada para o indutor, [Micro Henry,  $\mu\text{H}$ ];

l - comprimento longitudinal da bobina, [metro, m];

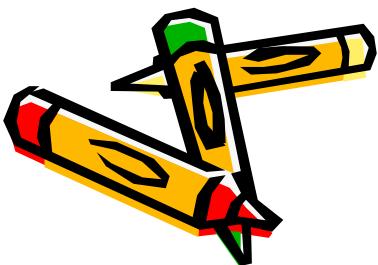
$r_1$  - raio interno da bobina (raio das espiras interiores), [metro, m];

$r_2$  - raio externo da bobina (raio das espiras exteriores), [metro, m].

### Multilayer Air Core Inductor Calculator

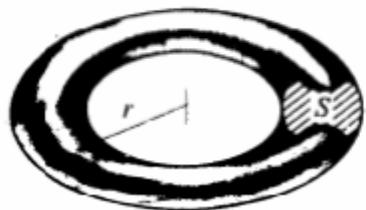
Enter L, d, l and Wire Gauge (all four are required) to calculate multilayer inductor data.

Inductance (L):	10	uH
Coil Inner Diameter (d):	10	mm
Coil Length (l):	10	mm
Wire Gauge:	18	AWG
<input type="button" value="Calculate"/>		<input type="button" value="Clear form"/>
Number of Turns (N):	33	
Turns per Layer:	9.42	
Number of Layers:	3.5	
Coil Outer Diameter (D):	18.49	mm



<http://www.pronine.ca/multind.htm>

## Núcleos toroidais:



$$N = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L}{\mu \cdot A}}$$

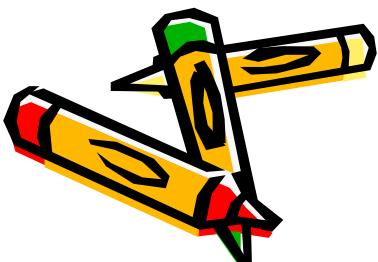
N - número de espiras da bobina indutora;

L - indutância desejada para o indutor, [Henry, H];

r - raio médio do toroide<sup>14</sup>, [metro, m];

$\mu$  - permeabilidade magnética do material do núcleo, [Henry por metro, H/m];

A - área da seção transversal do núcleo toroide (área das espiras da bobina), [metro quadrado, m<sup>2</sup>]





# Projeto de um indutor

## Tarefa:

- Indutância:  $L = 100$  a  $500 \mu\text{H}$ , definida como:

$$L = 100 \mu + \frac{\text{Final da matrícula}}{30000} \cdot 50$$

- Núcleo de ar;
- Diâmetro: livre, conforme o carretel ou molde;
- Comprimento: livre;
- Número de camadas: livre;
- Corrente:  $I = 1 \text{ A}$ ;
- Área do condutor: conforme tabela no site, para corrente especificada;
- Individual;
- Relatório deve conter no mínimo:
  - Capa, sumário, introdução, desenvolvimento (projeto), ensaios, foto, conclusão, referências bibliográficas, etc.

## Exemplo:

- Matrícula: 081203104-5

- $L = 100 \mu + \frac{31045}{30000} \cdot 50 = 151,7 \mu\text{H}$

