

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];

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

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

N - número de espiras

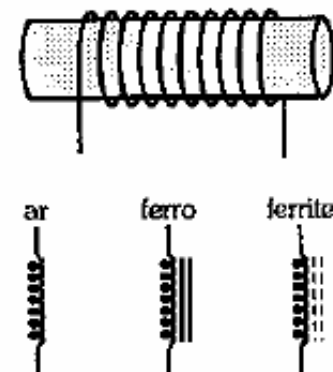
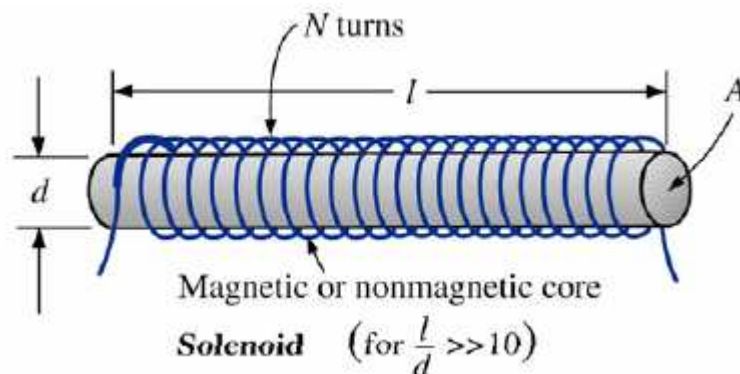


Figura 9.1 - Aparência e Simbologias dos Indutores (Fonte: Markus, 2001).

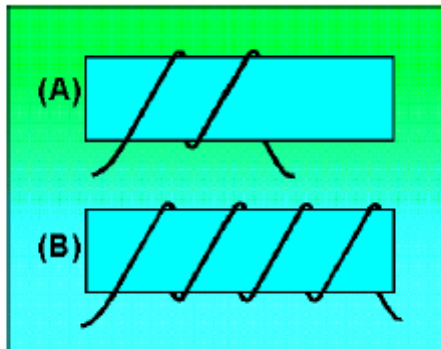
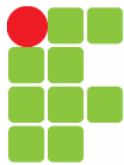


Figura 9.2 - indutor: (a) duas espiras; (b) quatro espiras.

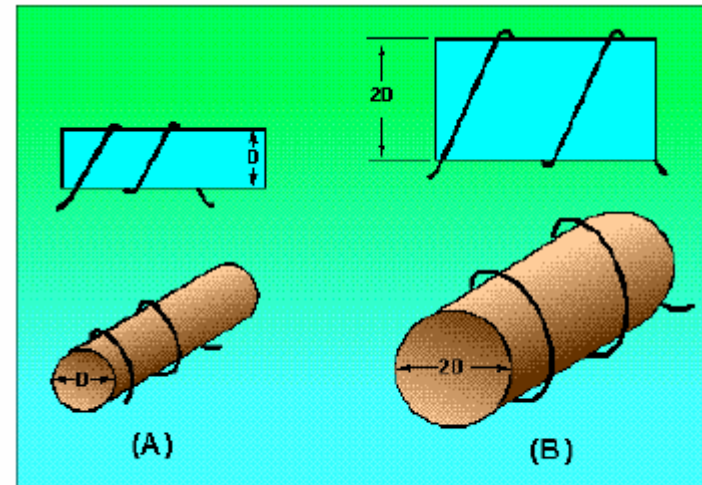


Figura 9.3 - indutor: (a) diâmetro D ; (b) diâmetro $2D$.

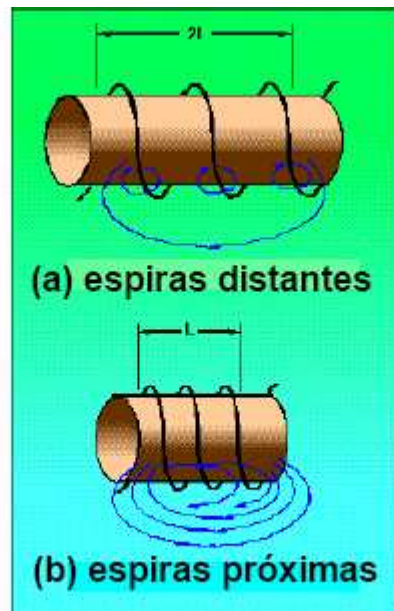


Figura 9.4 - indutor: (a) longo, bobinas espaçadas; (b) curto, bobinas próximas.

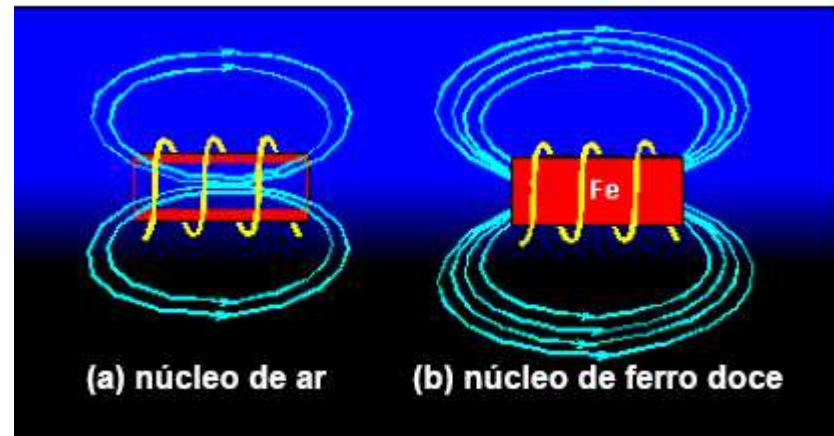


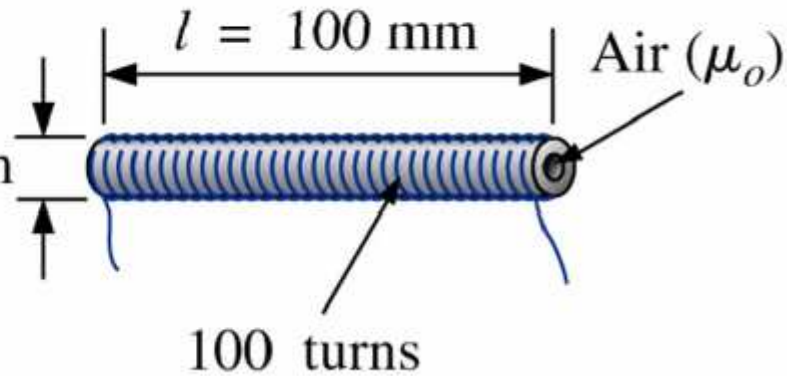
Figura 9.5 - tipo de núcleo: (a) ar; (b) ferro doce.



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

$$\mu_r = 1$$

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

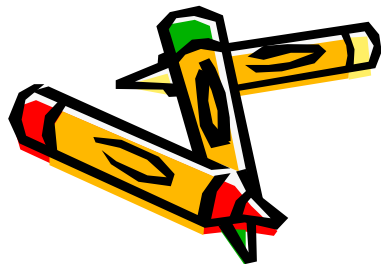


$$\mu = \mu_r \cdot \mu_o = 1 \cdot \mu_o = \mu_o$$

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

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

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



2.5.1 - Especificações de indutores

Tabela 9.1

Valores Múltiplos Padronizados de Indutores (em μH)											
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 $\pm 20\%$.

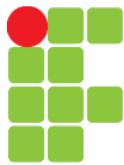
A **Resistência Ôhmica** é a resistência imposta pelo condutor do enrolamento do indutor.

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, radiofrequência (RF), circuitos de acionamento e controle, sensores, etc.





INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA
SANTA CATARINA
Campus Araranguá

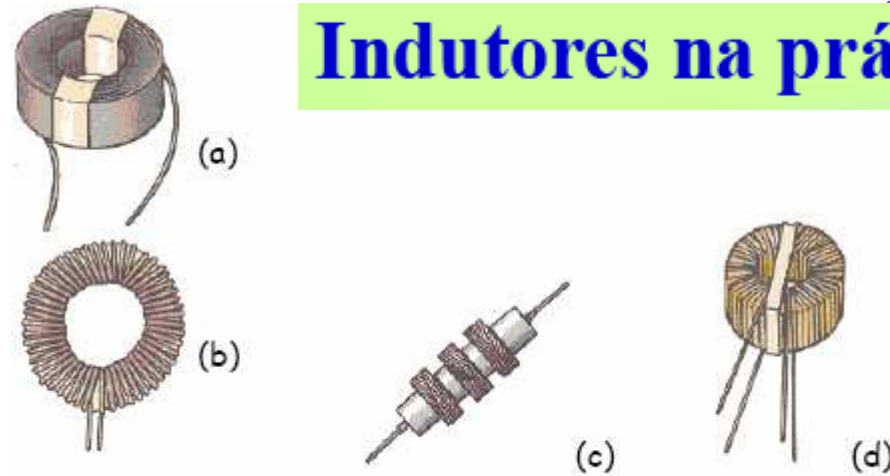
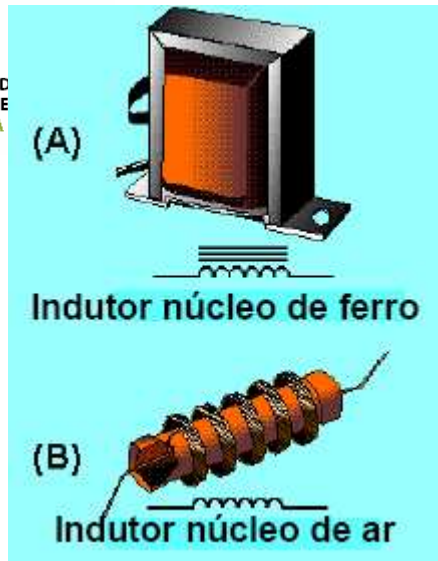


Figura 9.11 - tipos comuns de indutores (fonte: Boylestad)

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

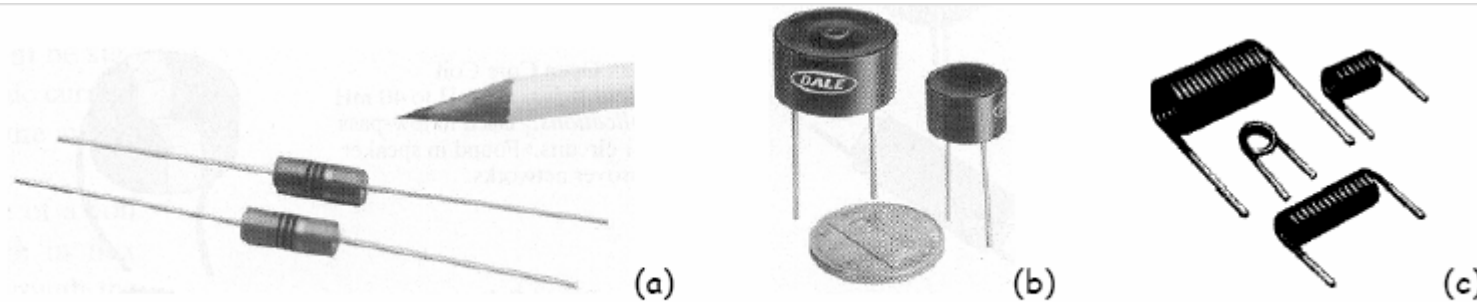
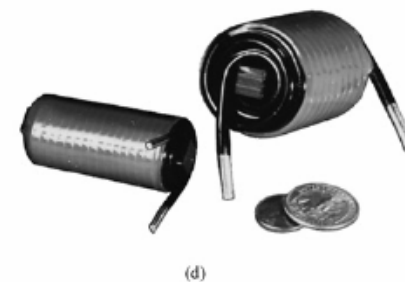
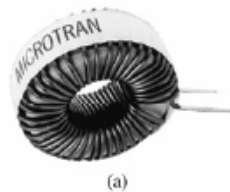


Figura 9.10 - tipos de indutores: (a) moldados axiais; (b) toroidais encapsulados; (c) núcleos de ar (fonte: Boylestad)

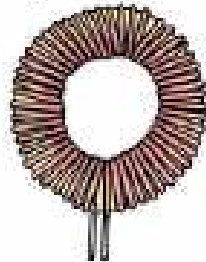


Eletromagnetismo
Técnico em Eletromecânica

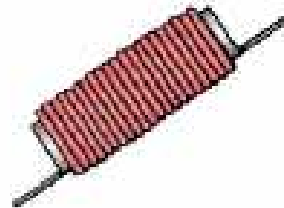
Type: Open Core Coil
Typical Values: 3 mH to 40 mH
Applications: Used in low-pass filter circuits. Found in speaker crossover networks.



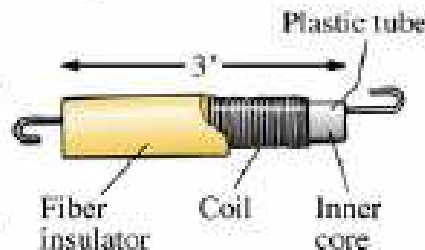
Type: Toroid Coil
Typical Values: 1 mH to 30 mH
Applications: Used as a choke in AC power lines circuits to filter transient and reduce EMI interference. This coil is found in many electronic appliances.



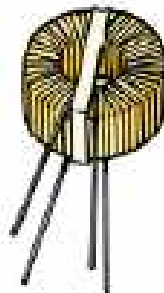
Type: Hash Choke Coil
Typical Values: 3 μ H to 1 mH
Applications: Used in AC supply lines that deliver high currents.



Type: Delay Line Coil
Typical Values: 10 μ H to 50 μ 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.



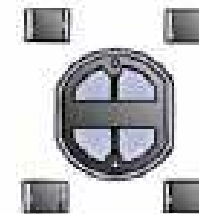
Type: RF Chokes
Typical Values: 10 μ H to 50 μ H
Applications: Used in radio, television, and communication circuits. Found in AM, FM, and UHF circuits.



Type: Moiled Coils
Typical Values: 0.1 μ H to 100 μ 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 μ H to 100 μ H
Applications: Found in many electronic circuits that require miniature components on multilayered PCB.



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





Técnico en Electromecánica



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:

- **Curto-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:

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

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, m²];

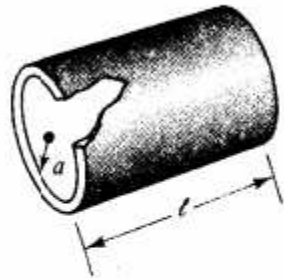
ℓ - comprimento longitudinal da bobina, [metro, m];

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





Bobina de camada única com núcleo de ar:



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

N - número de espiras da bobina indutora;

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

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

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

Single-Layer Air Coil Calculator

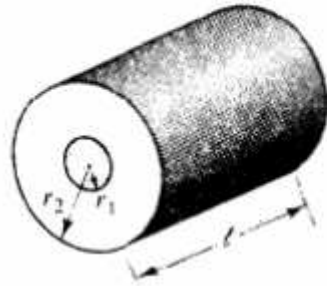
Enter L, D and d (all three are required) to calculate I and N.

	Inductance (L):	<input type="text"/>	nH <input type="button" value="v"/>
	Coil Diameter (D):	<input type="text"/>	inches <input type="button" value="v"/>
	Wire Diameter (Turn Step) (d):	<input type="text"/>	inches <input type="button" value="v"/>
	<input type="button" value="Calculate"/>		<input type="button" value="Clear Form"/>
	Coil Length (l):	<input type="text"/>	inches <input type="button" value="v"/>
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, μH];

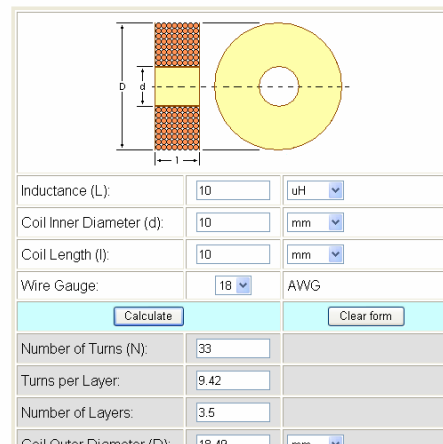
ℓ - comprimento longitudinal da bobina, [metro, m];

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.

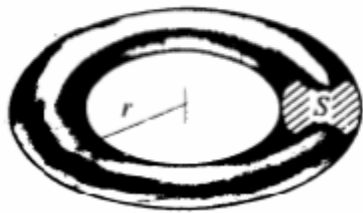


Inductance (L):	10	μH
Coil Inner Diameter (d):	10	mm
Coil Length (l):	10	mm
Wire Gauge:	18	AWG
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Clear form"/>		
Number of Turns (N):	33	
Turns per Layer:	9.42	
Number of Layers:	3.5	
Coil Outer Diameter (D):	18.49	mm

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

Eletromagnetismo -
Técnico em Eletromecânica

Núcleos toroidais:



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

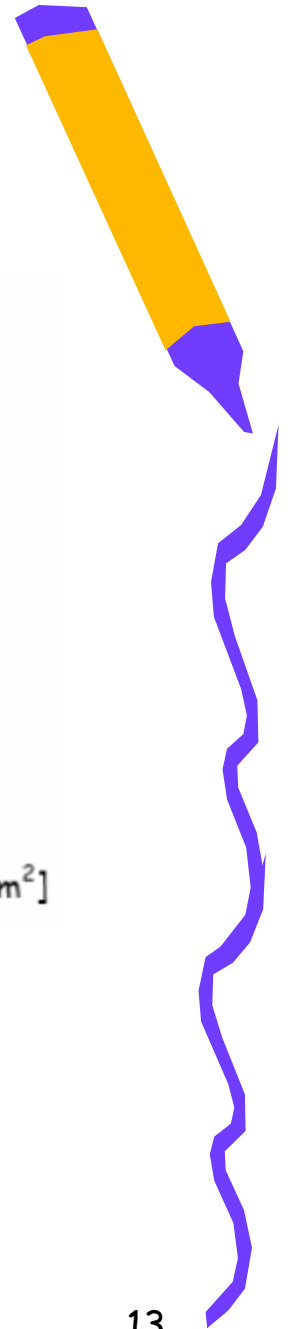
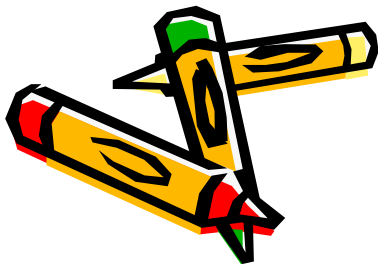
N - número de espiras da bobina indutora;

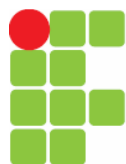
L - indutância desejada para o indutor, [Henry, H];

r - raio médio do toroide¹⁴, [metro, m];

μ - 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, m²]





Projeto de um indutor

Tarefa:

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

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

Exemplo:

- Matrícula: 081203104-5

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

- 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.

