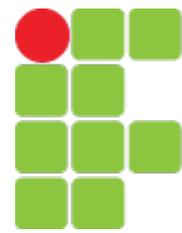


Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

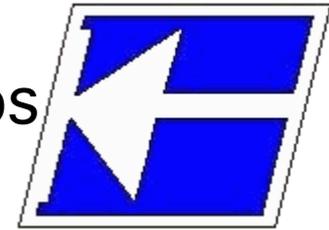


INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

Departamento Acadêmico de Eletrônica

Pós-Graduação em Desen. de Produtos Eletrônicos

Conversores Estáticos e Fontes Chaveadas



# Projeto de Indutores para Alta Frequência

Prof. Clovis Antonio Petry.  
Prof. Joabel Moia.

Florianópolis, abril de 2014.

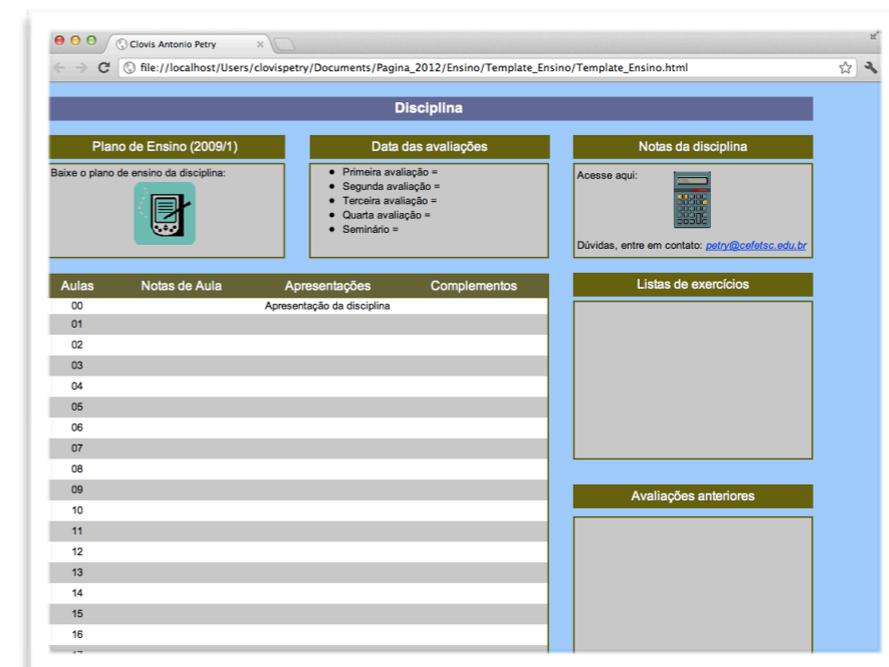
# Biografia para Esta Aula

## Projeto de indutores em alta frequência:

- Conversor Buck;
- Projeto de indutor com núcleo de ferrite.



[www.ProfessorPetry.com.br](http://www.ProfessorPetry.com.br)



A screenshot of a web browser displaying a course page. The browser address bar shows the file path: file:///localhost/Users/clovispetry/Documents/Pagina\_2012/Ensino/Template\_Ensino/Template\_Ensino.html. The page title is 'Disciplina'. The content is organized into several sections:

- Plano de Ensino (2009/1)**: Baixe o plano de ensino da disciplina: 
- Data das avaliações**:
  - Primeira avaliação =
  - Segunda avaliação =
  - Terceira avaliação =
  - Quarta avaliação =
  - Seminário =
- Notas da disciplina**: Acesse aqui:   
Dúvidas, entre em contato: [petry@cefetsc.edu.br](mailto:petry@cefetsc.edu.br)
- Table with 4 columns**: Aulas, Notas de Aula, Apresentações, Complementos.

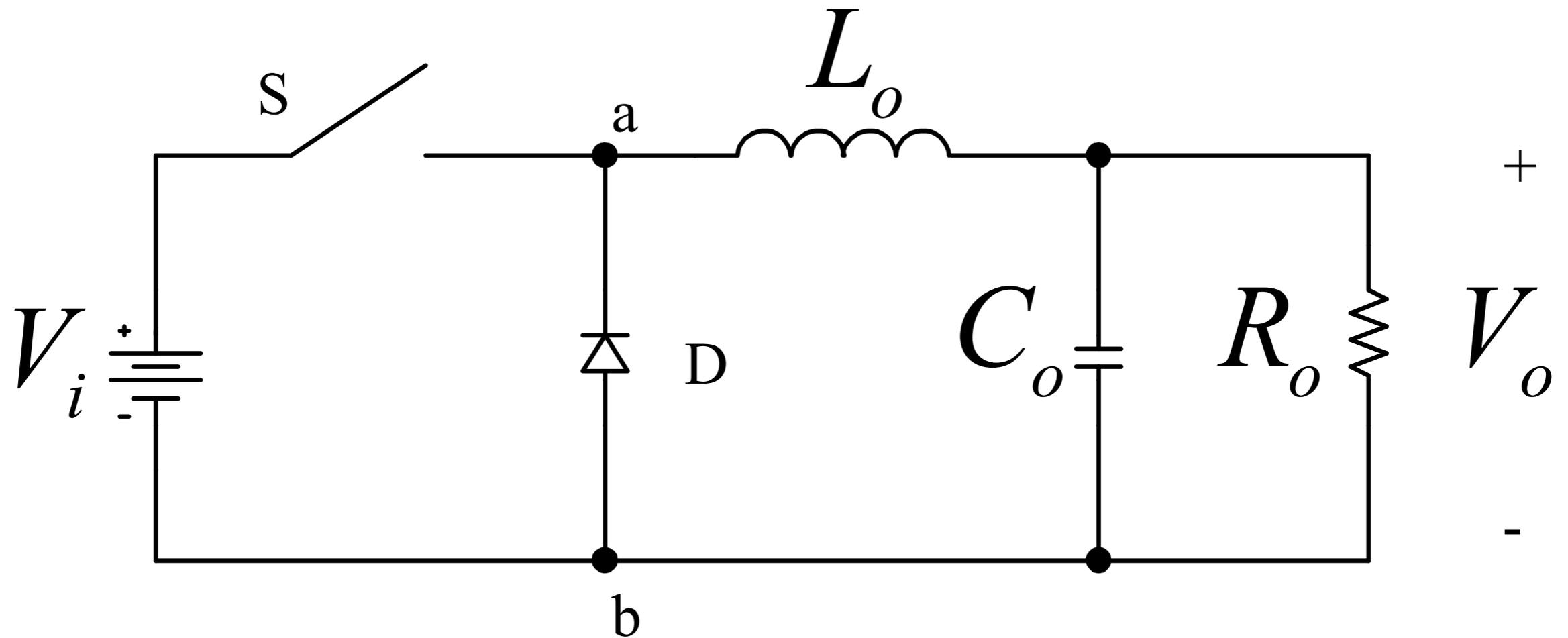
Aulas	Notas de Aula	Apresentações	Complementos
00		Apresentação da disciplina	
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
- Listas de exercícios**: 
- Avaliações anteriores**: 

# Nesta Aula

## Projeto de indutores em alta frequência:

- Conversor Buck;
- Projeto de indutor com núcleo de ferrite.

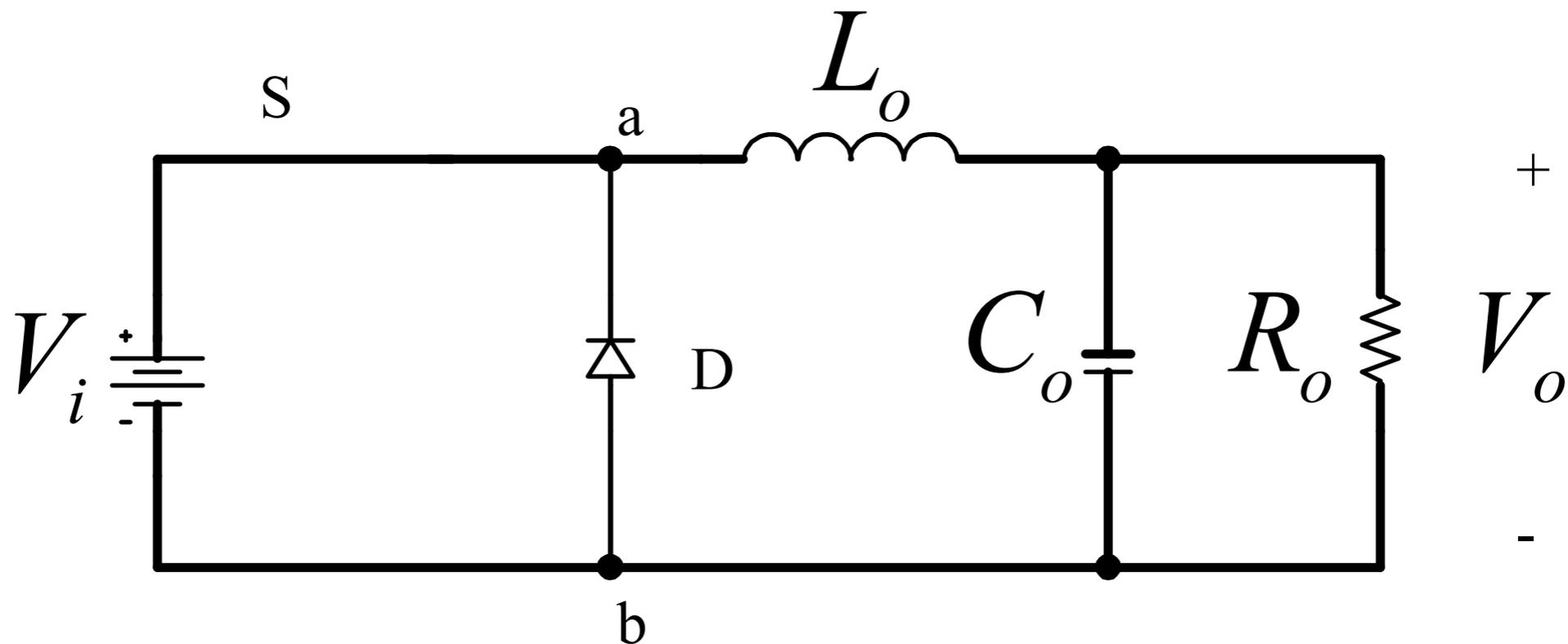
# Conversor Buck



# Conversor Buck

Primeira etapa de funcionamento:

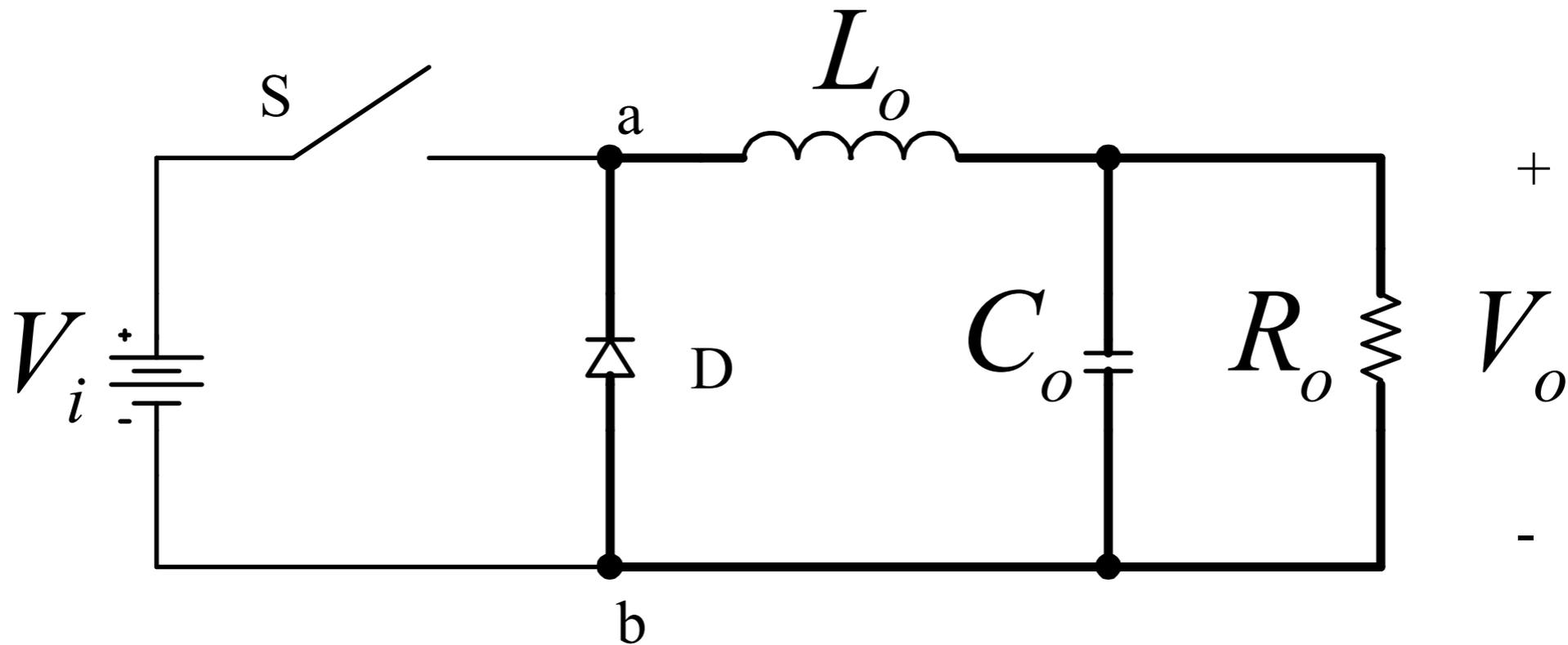
- Interruptor conduzindo;
- Diodo bloqueado;
- Energia sendo armazenada no indutor.



# Conversor Buck

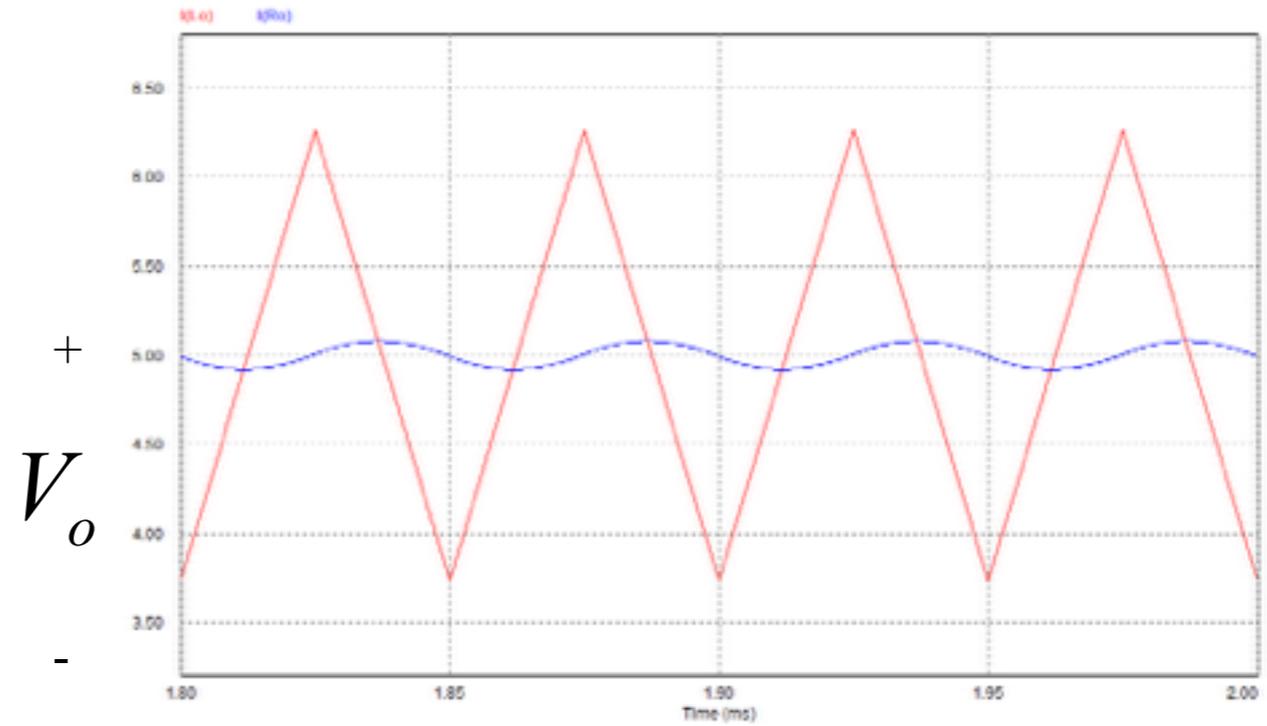
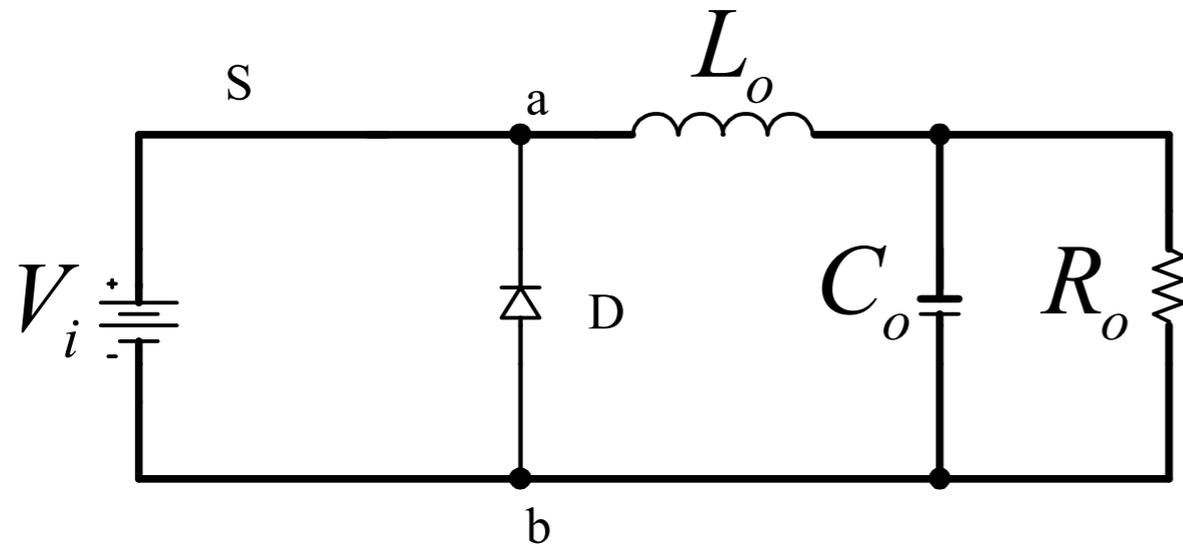
## Segunda etapa de funcionamento:

- Interruptor bloqueado;
- Diodo conduzindo;
- Energia armazenada no indutor sendo transferida para saída.



# Conversor Buck

Ondulação de corrente em  $L_o$ :



$$V_{L_o} = L_o \frac{di_{L_o}}{dt} \approx L_o \frac{\Delta I_{L_o}}{\Delta T}$$

$$\Delta I_{L_o} = \frac{(V_i - V_o) \cdot D \cdot T_s}{L_o}$$

$$\Delta I_{L_o} = \frac{V_{L_o} \cdot \Delta T}{L_o}$$

$$\Delta I_{L_o} = \frac{(V_i - D \cdot V_i) \cdot D}{L_o \cdot F_s} = \frac{V_i}{L_o \cdot F_s} D \cdot (1 - D)$$

$$\Delta I_{L_o\_max} = \frac{V_i}{4 \cdot L_o \cdot F_s}$$

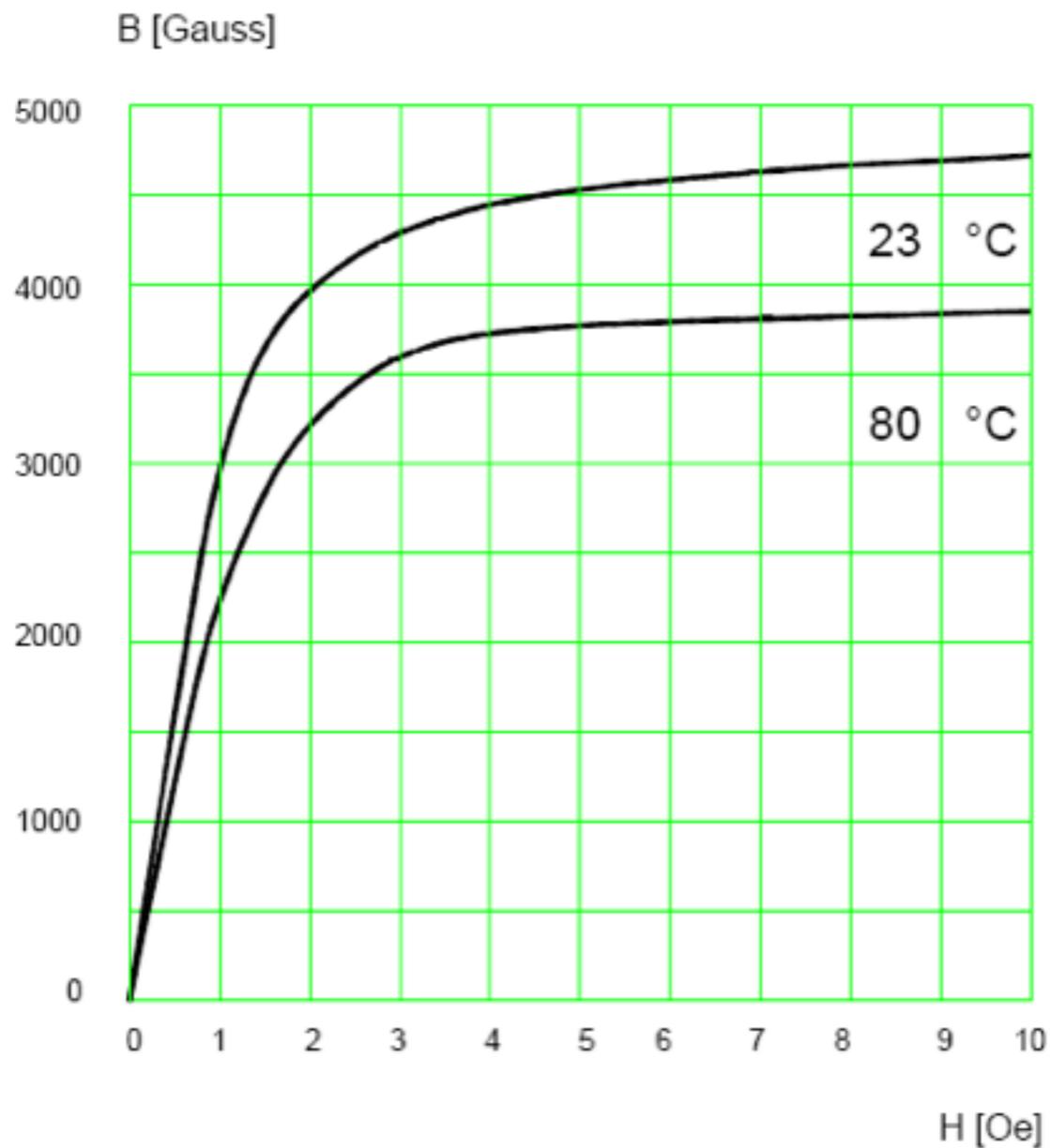
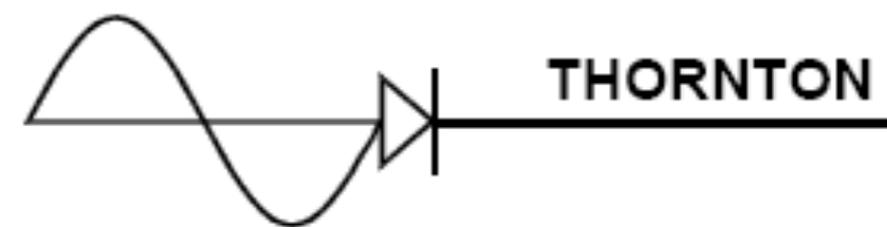
# Projeto de Indutores

**O projeto de um indutor depende:**

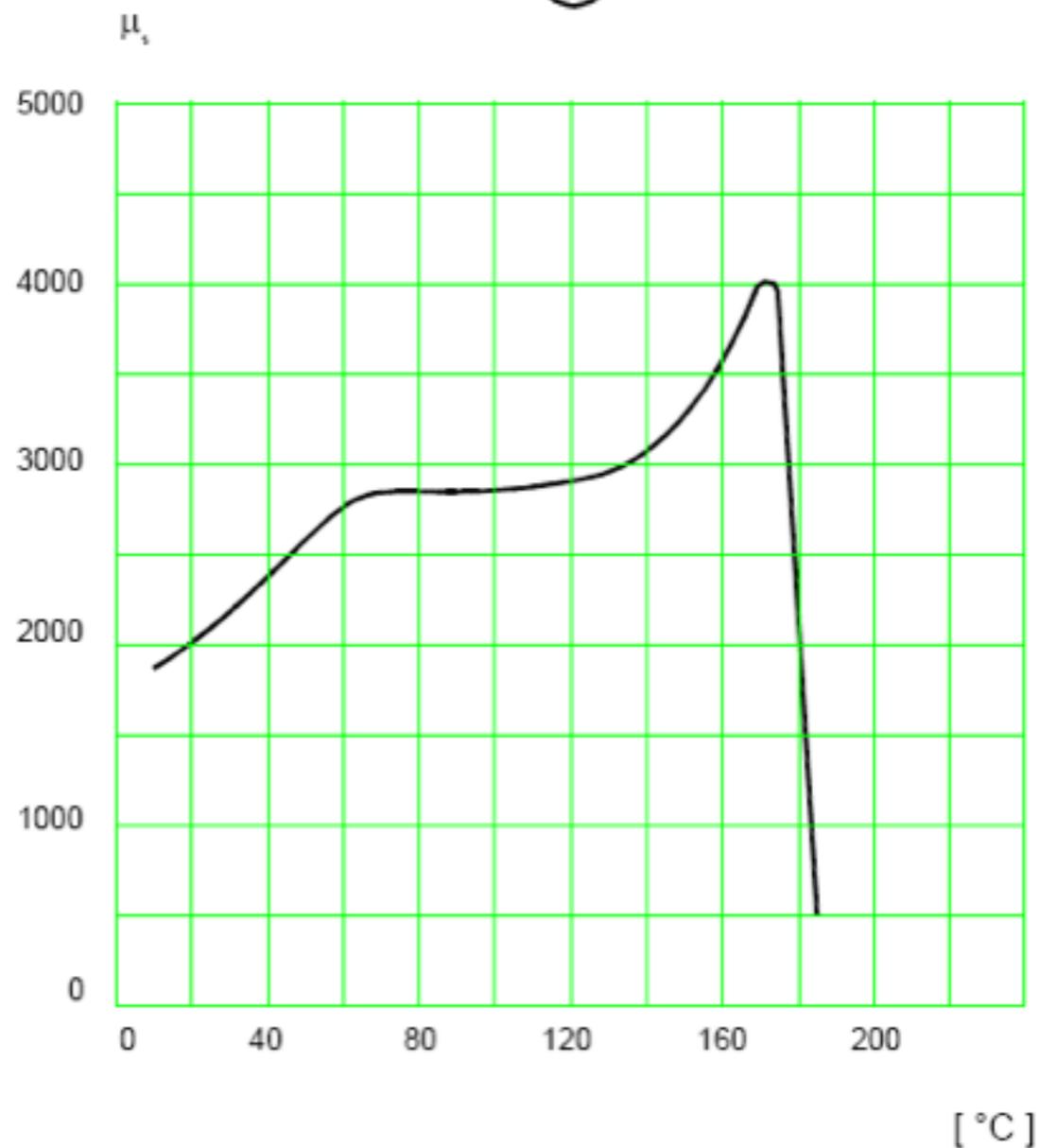
- Da frequência de operação;
- Da corrente no mesmo;
- Do regime de trabalho;
- Do material utilizado para o núcleo;
- Entre outros....

# Projeto de Indutores com Núcleo de Ferrite

Características do núcleo:



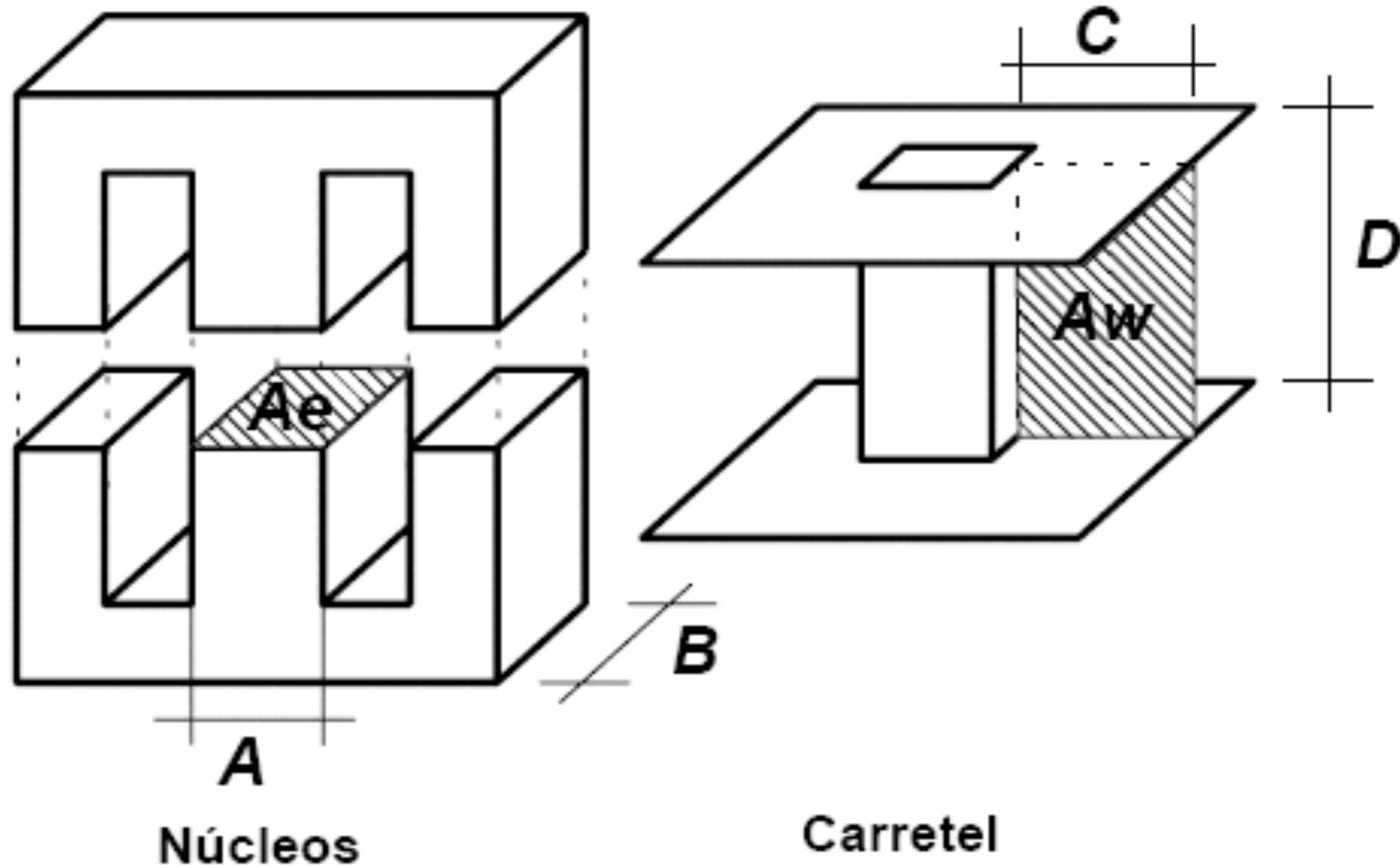
Típico  $B \times H$



$\mu_r \times$  Temperatura

# Projeto de Indutores com Núcleo de Ferrite

Montagem do núcleo (com entreferro):



# Projeto de Indutores com Núcleo de Ferrite

## 1) Dados de entrada:

$$L_o = 100 \mu H$$

$$F_s = 20 kHz$$

$$I_{Lop} = 10 A$$

$$I_{Loef} = 6 A$$

$$\Delta I_{Lo} = 1 A$$

$$k = 0,7$$

$$J = 450 A / cm^2$$

$$B = 0,35 T$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} Wb / A / m$$

Indutância do indutor;

Frequência de operação;

Corrente de pico;

Corrente eficaz;

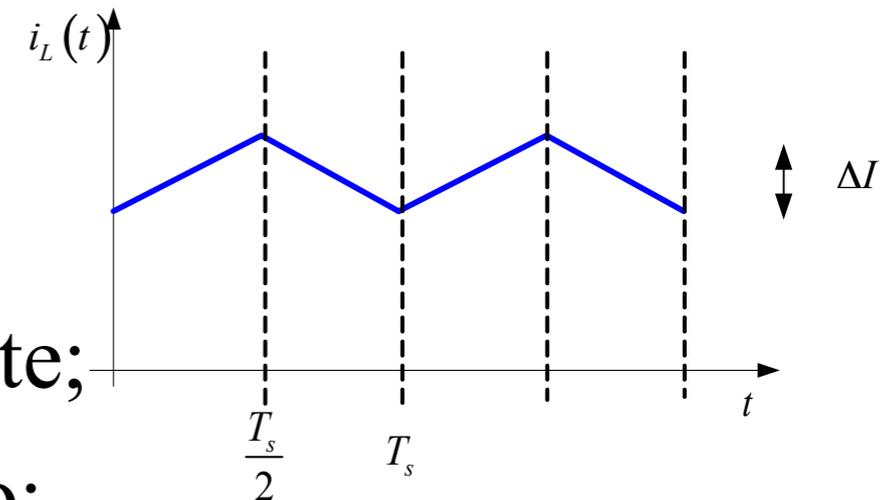
Ondulação de corrente;

Fator de enrolamento;

Densidade de corrente;

Densidade de fluxo máximo;

Permeabilidade no vácuo.



# Projeto de Indutores com Núcleo de Ferrite

## 2) Escolha do núcleo:

$$\Delta B = B \frac{\Delta I_{Lo}}{I_{Lop}} = 0,35 \frac{1}{10} = 0,035 T$$

$$A_e A_w = \frac{L_o \cdot I_{Lop} \cdot I_{Loef} \cdot 10^4}{k \cdot B \cdot J} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 6 \cdot 10^4}{0,7 \cdot 0,35 \cdot 450} = 0,544 \text{ cm}^4$$

Núcleo	$A_e$ (cm <sup>2</sup> )	$A_w$ (cm <sup>2</sup> )	$l_e$ (cm)	$l_t$ (cm)	$v_e$ (cm <sup>3</sup> )	$A_e A_w$ (cm <sup>4</sup> )
E-20	0,312	0,26	4,28	3,8	1,34	0,08
E-30/7	0,60	0,80	6,7	5,6	4,00	0,48
E-30/14	1,20	0,85	6,7	6,7	8,00	1,02
E-42/15	1,81	1,57	9,7	8,7	17,10	2,84
E-42/20	2,40	1,57	9,7	10,5	23,30	3,77
E-55	3,54	2,50	1,2	11,6	42,50	8,85



# Projeto de Indutores com Núcleo de Ferrite

3) Cálculo do número de espiras:

$$N = \frac{L_o \cdot I_{Lop} \cdot 10^4}{B \cdot A_e} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^4}{0,35 \cdot 1,20} = 24 \text{ espiras}$$

4) Cálculo do entreferro:

$$l_g = \frac{N^2 \cdot \mu_o \cdot A_e \cdot 10^{-2}}{L_o} = \frac{24^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,20 \cdot 10^{-2}}{100 \cdot 10^{-6}} = 0,087 \text{ cm}$$

## 5) Perdas no núcleo:

$$K_H = 4 \cdot 10^{-5}$$

$$K_E = 4 \cdot 10^{-10}$$

$$P_{nucleo} = \Delta B^{2,4} \cdot (K_H \cdot F_s + K_E \cdot F_s^2) \cdot V_e$$

$$P_{nucleo} = 0,035^{2,4} \cdot (4 \cdot 10^{-5} \cdot 20000 + 4 \cdot 10^{-10} \cdot 20000^2) \cdot 8$$

$$P_{nucleo} = 2,46 mW$$



# Projeto de Indutores com Núcleo de Ferrite

6) Profundidade de penetração:

$$\Delta = \frac{7,5}{\sqrt{F_s}} = \frac{7,5}{\sqrt{20000}} = 0,053 \text{ cm}$$

$$D_{\text{fio}}_{\text{max}} = 2 \cdot \Delta = 2 \cdot 0,053 = 0,106 \text{ cm}$$

Não poderá ser utilizado condutor com diâmetro maior que 0,106 cm.  
Portanto, podem ser utilizados condutores mais finos que o fio 18 AWG.  
Escolheu-se o condutor 22 AWG.

$$A_{\text{cu}22} = 0,003255 \text{ cm}^2$$

$$S_{22} = 0,004013 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{22} = 0,000530 \Omega / \text{cm}$$

# Projeto de Indutores com Núcleo de Ferrite

7) Escolha da seção dos condutores:

$$S = \frac{I_{Loef}}{J} = \frac{6}{450} = 0,013 \text{ cm}^2 \quad \text{Maior que a área do fio 22 AWG.}$$

$$N_{fios} = \frac{S}{A_{cu22}} = \frac{0,013}{0,003255} = 4 \text{ fios} \rightarrow 5 \text{ fios}$$

8) Cálculo da resistência do fio:

$$R_{fio} = N \cdot \frac{\rho_{22}}{N_{fios}} \cdot lt = 24 \cdot \frac{0,000530}{5} \cdot 6,7 = 0,017 \Omega$$

# Projeto de Indutores com Núcleo de Ferrite

9) Perdas no cobre:

$$P_{cobre} = R_{fio} \cdot I_{Loef}^2 = 0,017 \cdot 6^2 = 0,614W$$

10) Perdas totais:

$$P_{totais} = P_{nucleo} + P_{cobre} = 2,46m + 0,614 = 0,616W$$

11) Elevação de temperatura:

$$Rt = 23 \cdot (AeAw)^{-0,37} = 23 \cdot (1,02)^{-0,37} = 22,832 \text{ } ^\circ C / W$$

$$\Delta T = Rt \cdot P_{total} = 22,832 \cdot 0,616 = 14,066 \text{ } ^\circ C$$

# Projeto de Indutores com Núcleo de Ferrite

12) Cálculo do fator de ocupação:

$$Aw_{neces} = \frac{N \cdot N_{fios} \cdot S_{22}}{0,7} = \frac{24 \cdot 5 \cdot 0,004013}{0,7} = 0,688 \text{ cm}^2$$

$$K_{ocup} = \frac{Aw_{neces}}{Aw} = \frac{0,688}{0,85} = 0,809$$

