



# ***INTEGRAÇÃO DE CONVERSORES ESTÁTICOS***

## ***Parte 1***

### ***A lógica da Integração***

Apresentadores: **Tiago Bandeira Marchesan**  
**Marco Antonio Dalla Costa**

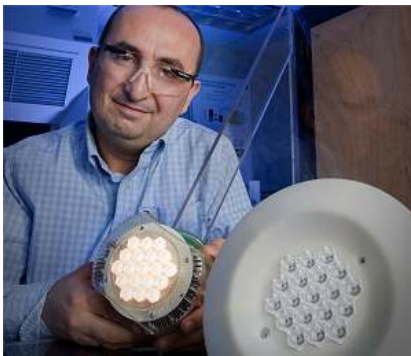
*Universidade Federal de Santa Maria*  
*GEDRE – Inteligência em Iluminação*



**UFSM**



- Conversores DC/DC
- Correção do Fator de Potência
- O porquê da Integração
- Vantagens e Desvantagens
- Metodologia da Integração
- Equacionamentos Gerais
- Ábacos de esforços nos semicondutores
- Simulações

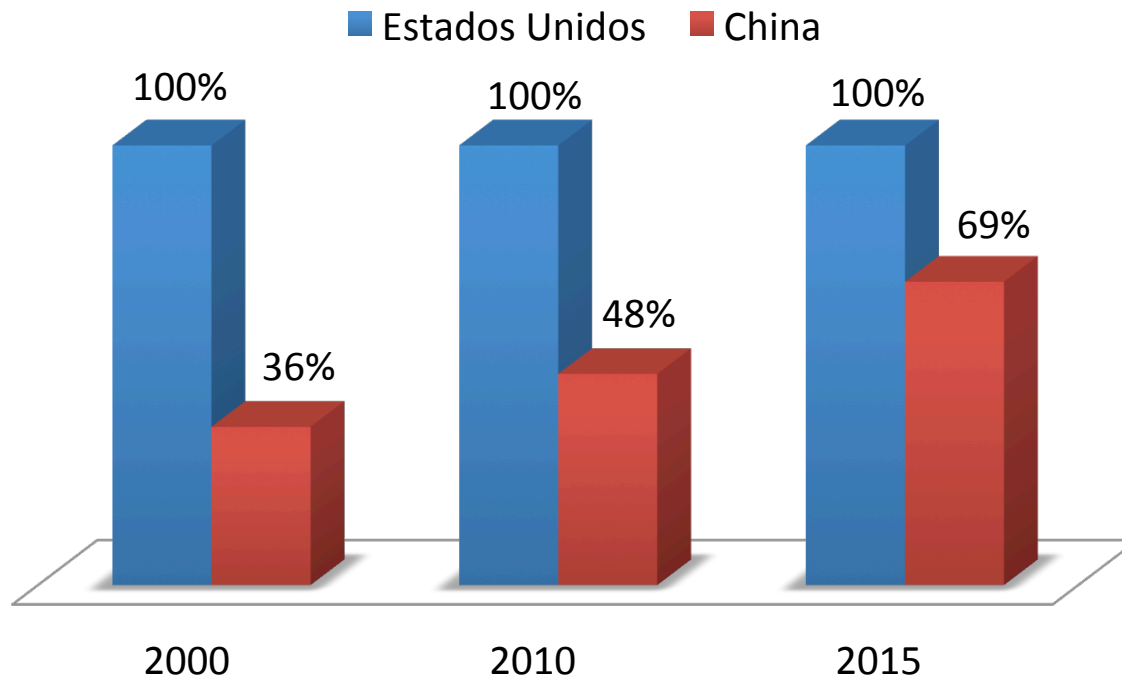


**Mehmet Arik**, coordenador do projeto, mostra a lâmpada de LEDs de alta potência, tornada possível graças a uma tecnologia de refrigeração usada em turbinas de avião. Imagem: GE Research

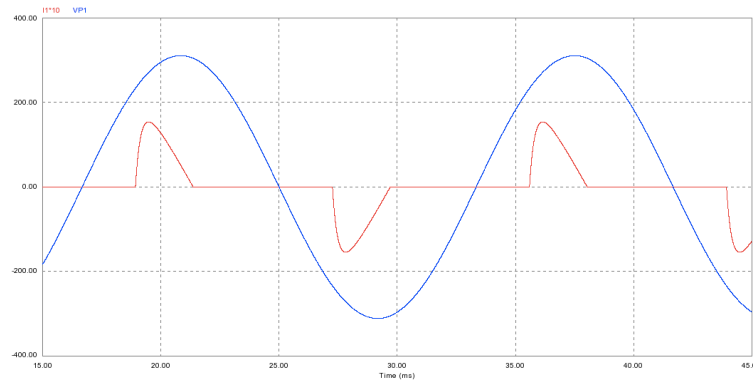
**Fonte: PET – EE , UFJF**

# A Indústria

## Salário Médio



# Correção do Fator de Potência (PFC)



Artigo nº. 64 da Resolução da ANEEL nº. 456, de 29 de novembro de 2000.

Superior a 0,92

IEC 61000-3-2 - harmônicas de corrente injetadas na rede pública.

*Classe A:* alimentação trifásica equilibrada.

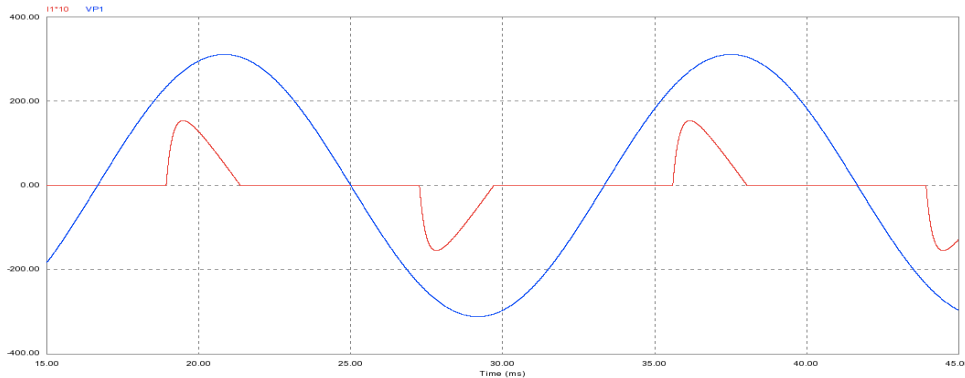
*Classe B:* ferramentas portáteis.


*Classe C:* dispositivos de iluminação.

*Classe D:* Corrente de entrada não senoidal.

39º harmônica

# Correção do Fator de Potência (PFC)

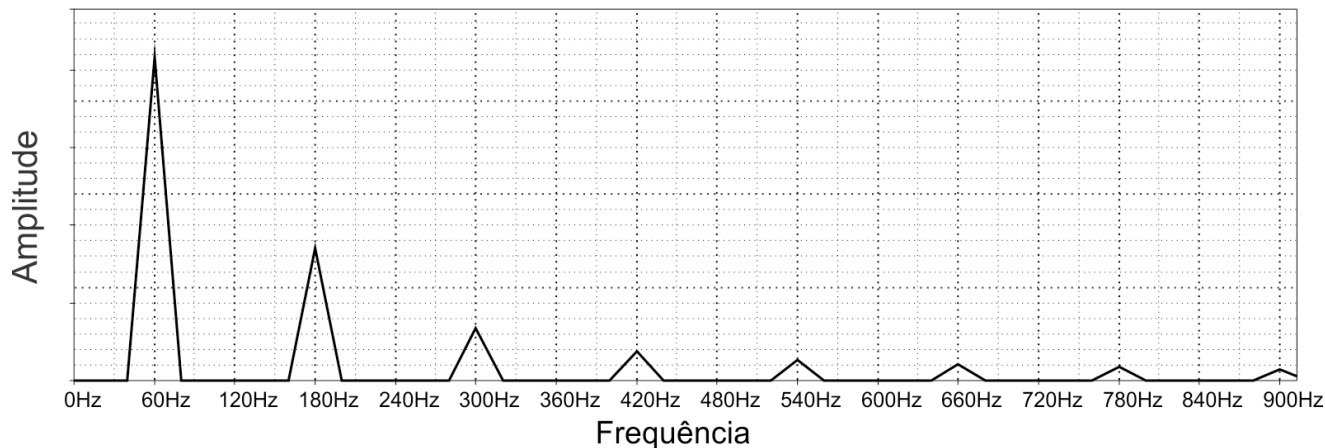



IEC61000-3-2 

39ª Harm x 60 Hz = 2340 Hz



$$FP = \frac{\cos(\phi_1)}{\sqrt{1 + THD^2}}$$



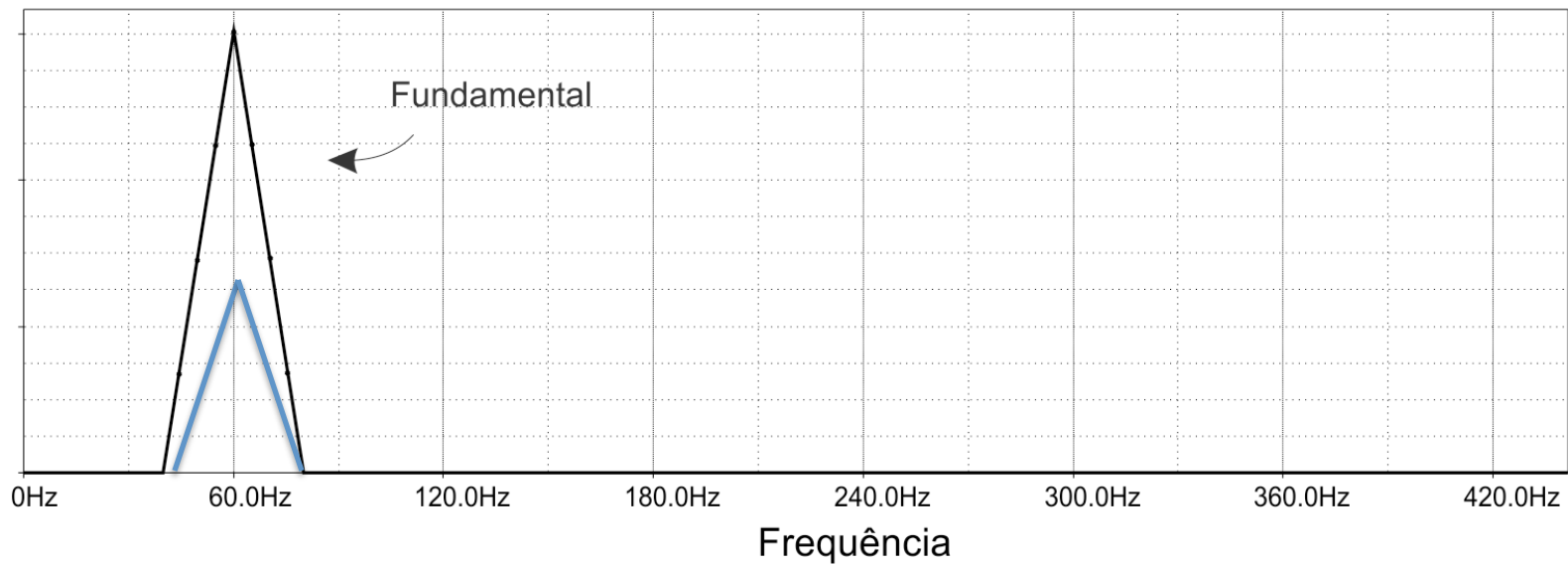
$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$


# IEC 61000-3-2

Ordem da harmônica (n)	Máximo valor percentual da harmônica de corrente em relação ao valor da fundamental, ou seja, $I_n/I_1$ .
2 <sup>a</sup>	2%
3 <sup>a</sup>	30% x Fator de Potência
5 <sup>a</sup>	10%
7 <sup>a</sup>	7%
9 <sup>a</sup>	5%
11 <sup>a</sup> ≤ n ≤ 39 <sup>a</sup> (somente ímpares)	3%

# Correção do Fator de Potência (PFC)

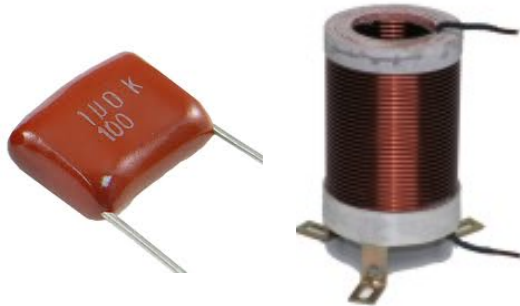
Situação Ideal



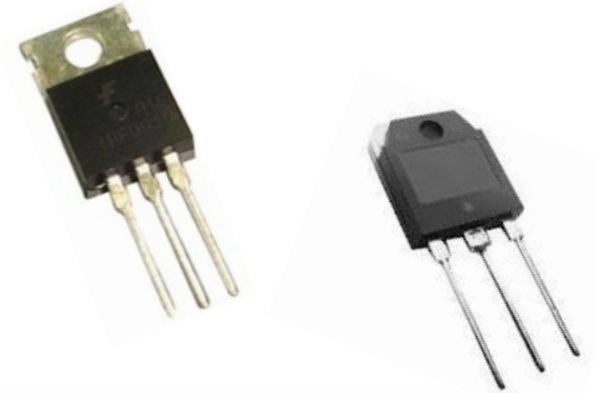
# Correção do Fator de Potência (PFC)

## Métodos Passivos

- Apenas elementos passivos.
- Filtros de baixa frequência.
- Elementos volumosos.



Adição de componentes passivos



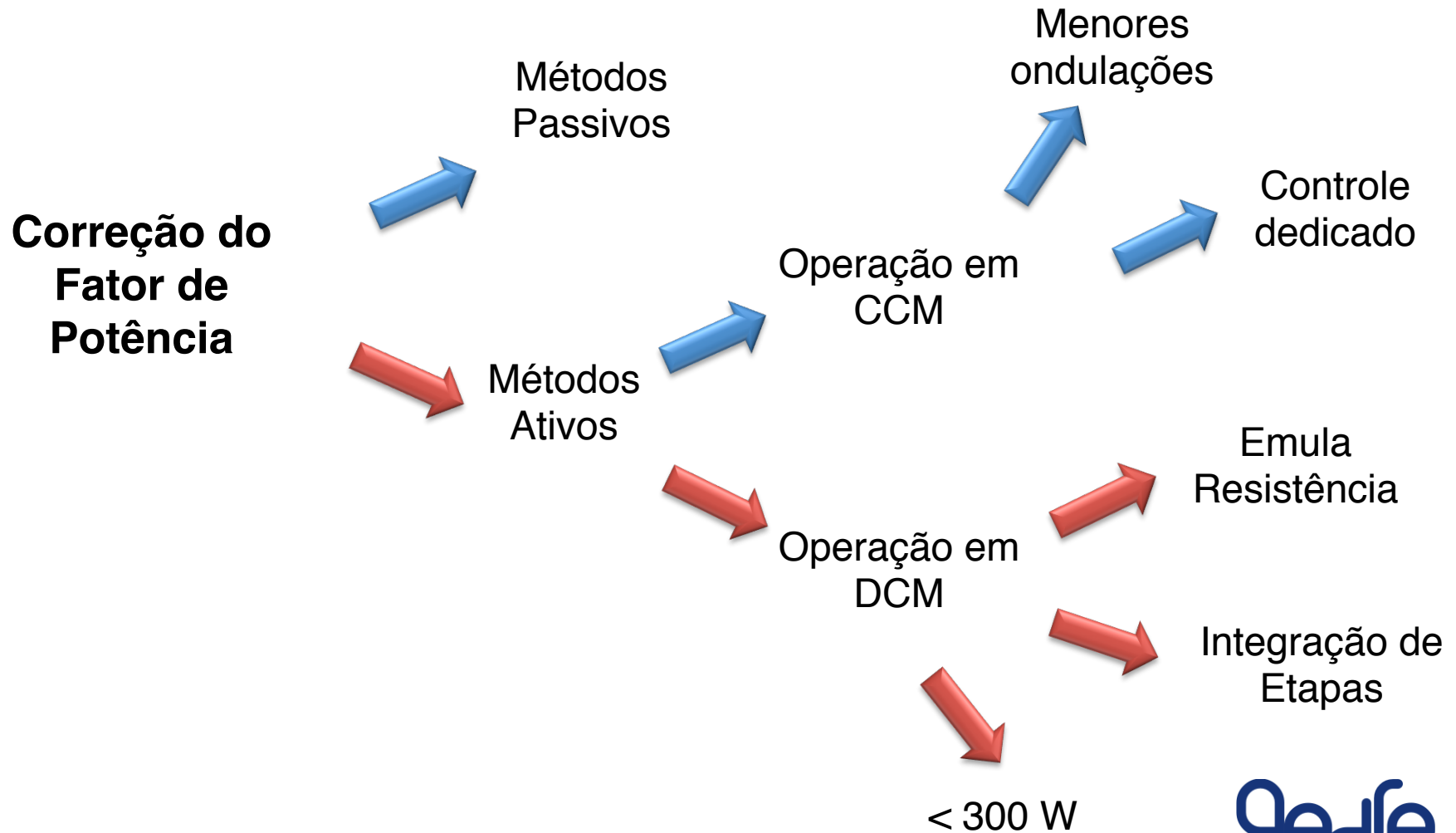
## Métodos Ativos

- Elementos passivos e ativos.
- Conversores estáticos
- Alta frequência.
- Reduz o volume dos magnéticos

Mais utilizado



# Correção do Fator de Potência (PFC)



# Correção do Fator de Potência (PFC)



Reatores  
Eletrônicos



Fontes para  
computadores



Fontes  
ininterruptas  
de energia (UPS)

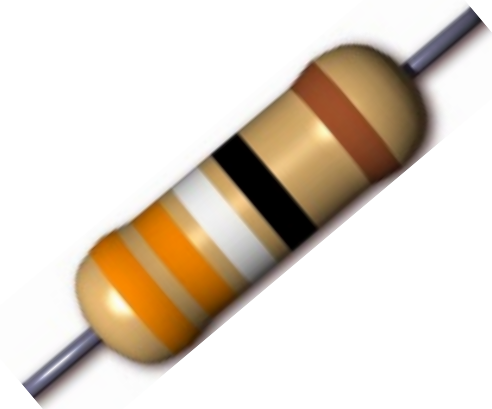
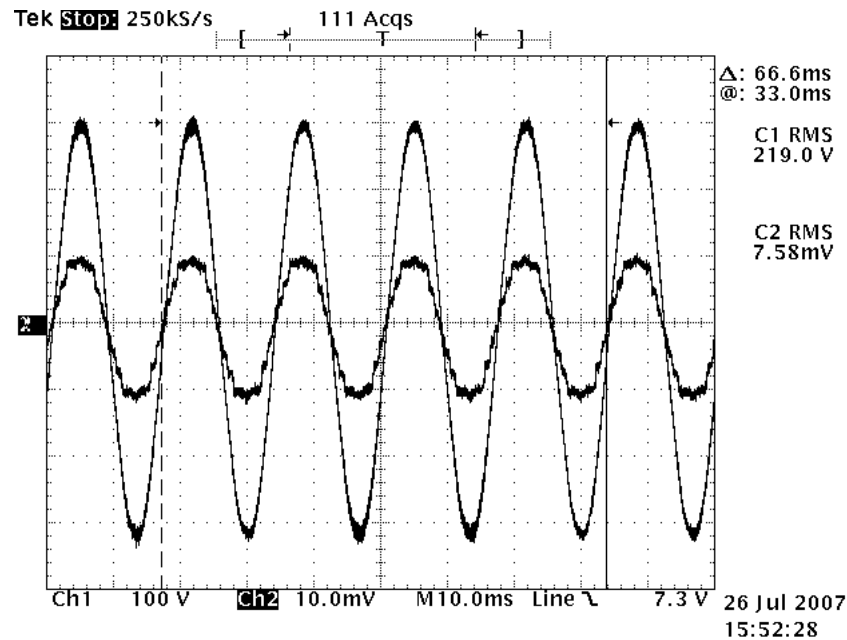
# Correção do Fator de Potência (PFC)

Método Ativo



Conversores Estáticos

Emular uma Resistência

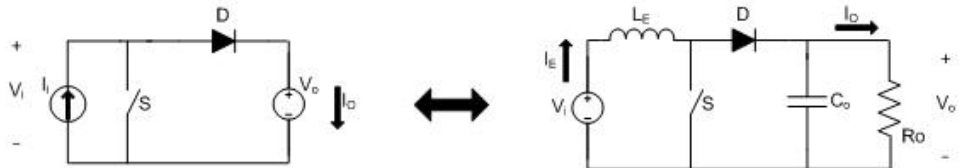


# Conversores DC/DC

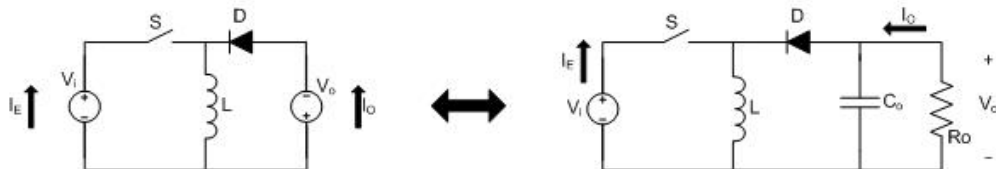
Buck:



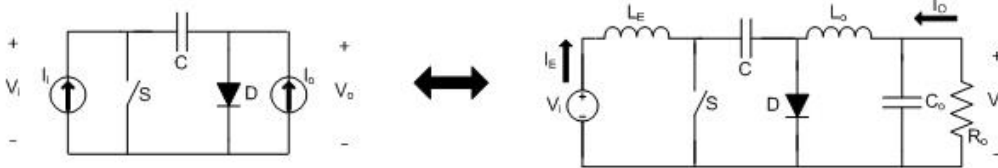
Boost:



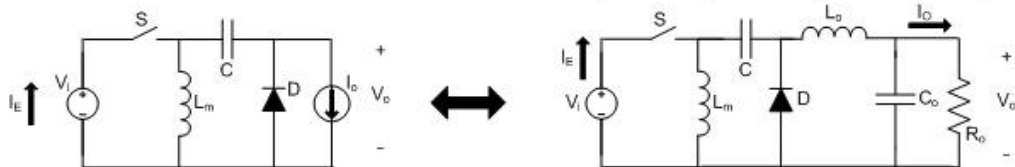
Buck-Boost:



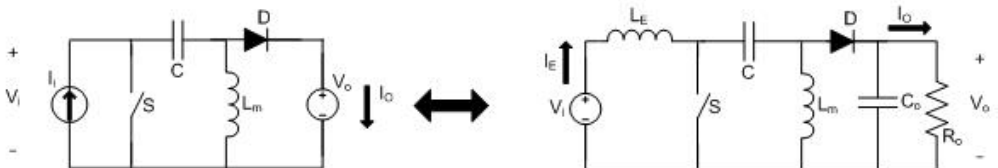
Cúk:



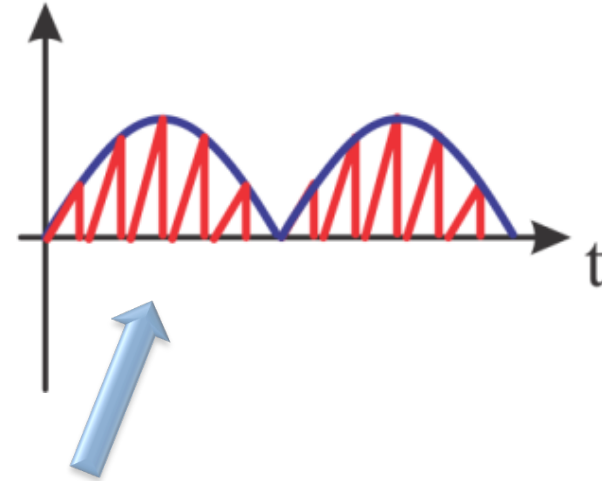
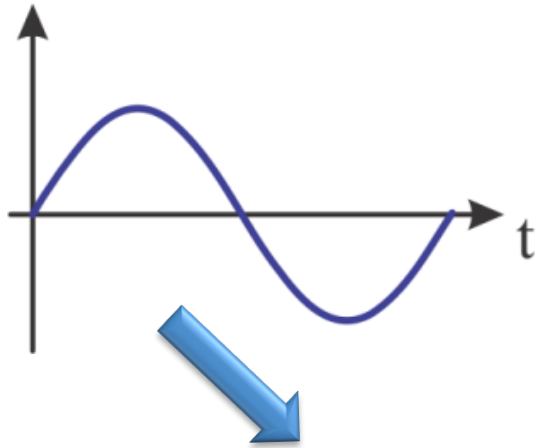
Zeta:



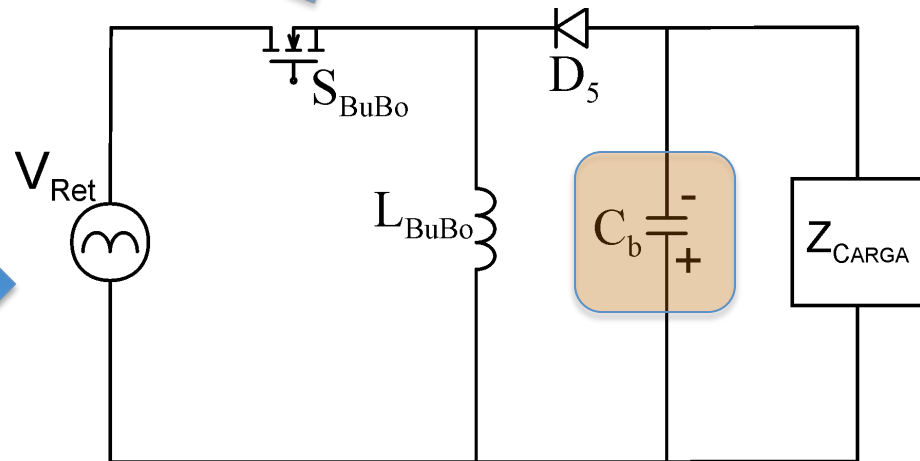
SEPIC:



# Conversor Buck-Boost



Retificação



# Características da Carga

## Modelo de Pequenos Sinais

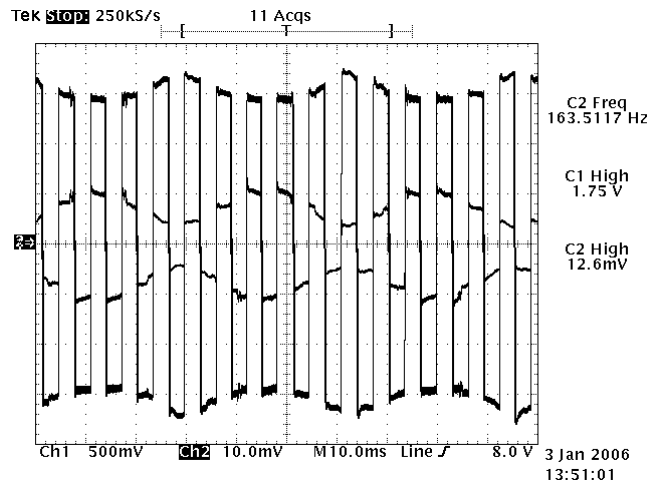
Impedância Incremental da Lâmpada no domínio da frequência

$$Z_{lamp}(s) = K \cdot \frac{s - z}{s + p}$$

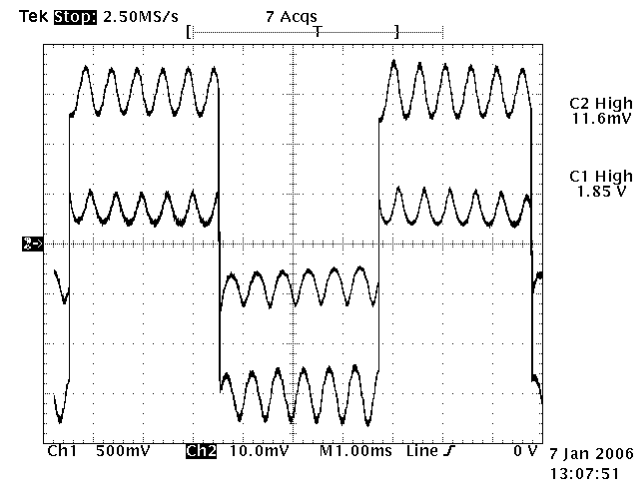
*Groot (1986); Deng (1997); Ribas (2002); Alonso (2005)*

# Modelo de Pequenos Sinais

$$Z_{lamp} = \frac{v_m}{i_m} \angle \beta$$



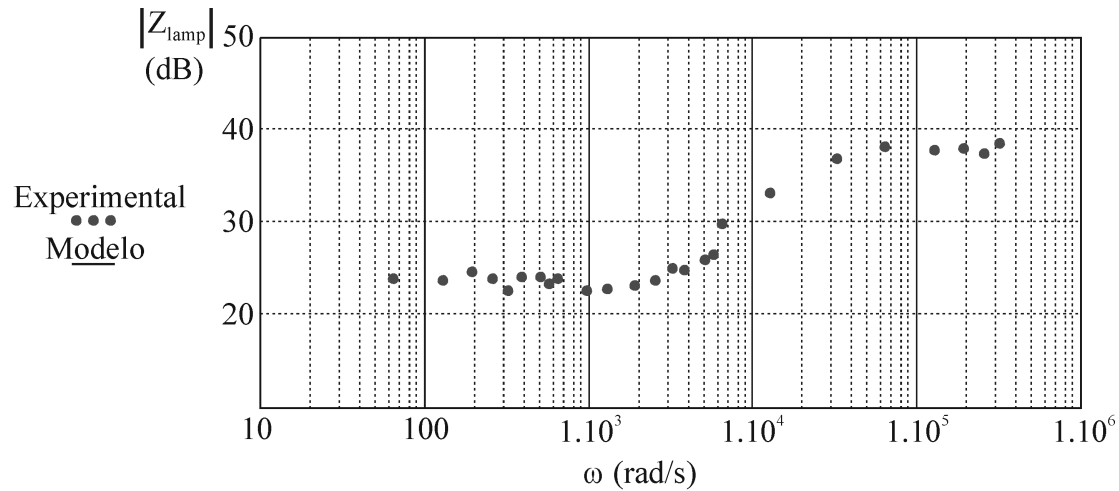
Frequência de modulação = 30Hz  
 $\beta = 172,87^\circ$



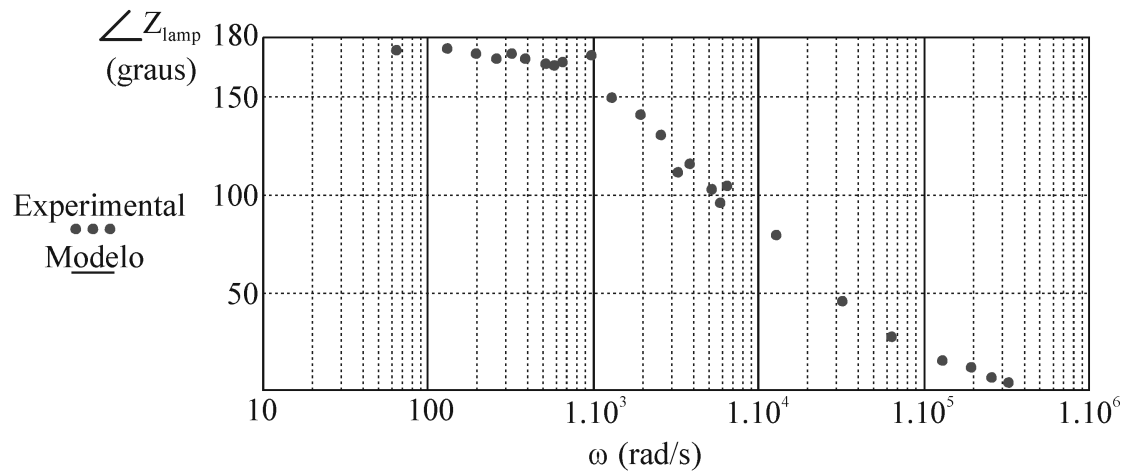
Frequência de modulação = 2 kHz  
 $\beta = 79,96^\circ$

70W OSRAM VIALOX<sup>®</sup> NAV<sup>®</sup> E LONGLIFE

# Modelo de Pequenos Sinais

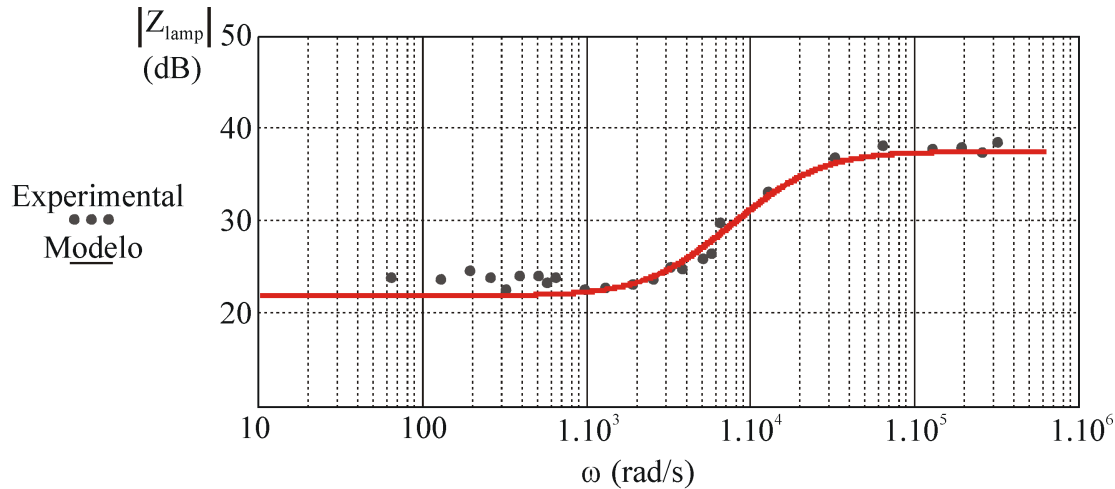


*Modelo para frequências de perturbação de 10 Hz a 50 kHz*





# Modelo de Pequenos Sinais

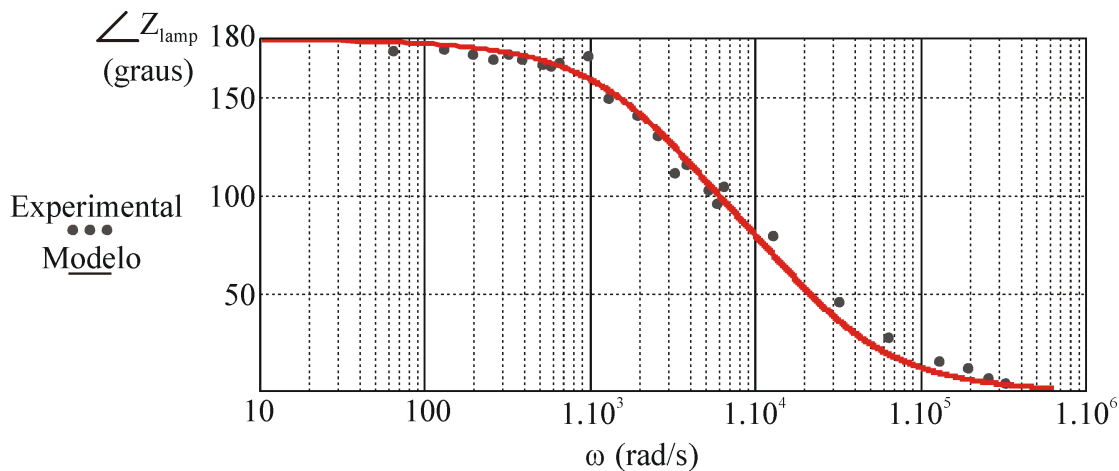


$$Z_{lamp}(s) = 75 \cdot \frac{s - 3.141,5}{s + 18.849}$$

$$K = 75$$

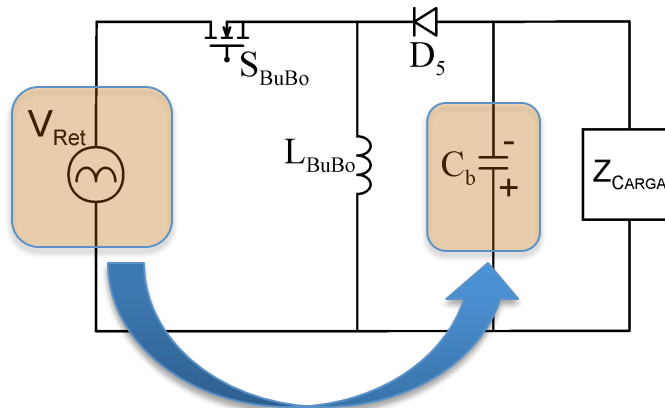
$$z = 500\text{Hz}$$

$$p = 3\text{kHz}$$



# Modelo de Pequenos Sinais

- Impedância de pequenos sinais é modelada por um ganho  $K$ , um pólo e um zero.
- Modelo da impedância incremental da lâmpada HPS apresenta um zero no semi-plano direito do plano “ $s$ ”.
- Inviável a alimentação da lâmpada por fonte de tensão.



# Modelo completo

Função de transferência do Conversor Flyback em DCM

$$G_{Fly}(s) = \frac{\frac{V_L}{D}}{1 + \frac{[Z_{lamp}(s) \cdot C_{1-2}] \cdot s}{2}}$$

Impedância incremental da Lâmpada

$$Z_{lamp}(s) = K \cdot \frac{s - z}{s + p}$$

# Modelo completo

Função de transferência do Sistema

$$G_{Fly}(s) = \frac{2 \cdot V_L}{D \cdot C_b \cdot K} \cdot \frac{s + p}{s^2 + \left( \frac{2}{C_b \cdot K} - z \right) s + \frac{2 \cdot p}{C_b \cdot K}}$$

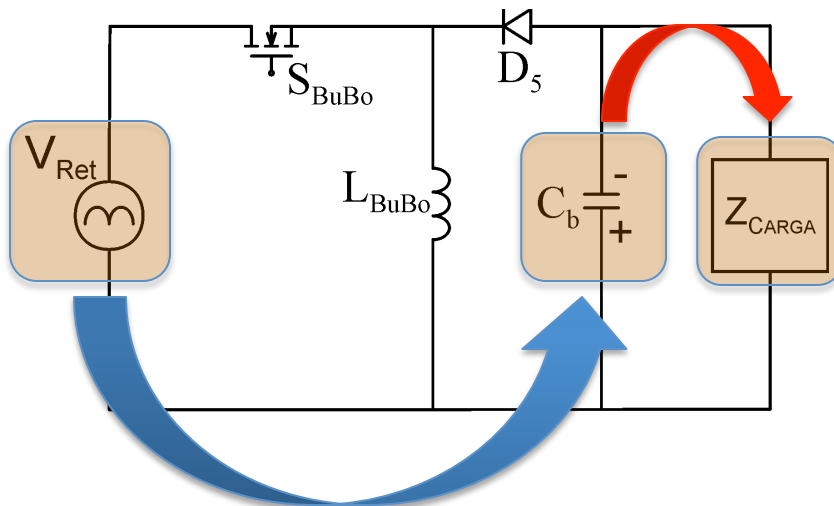
$$\frac{2}{C_b \cdot K} - z > 0$$

Critério de Estabilidade  
de *Routh- Hurwitz*

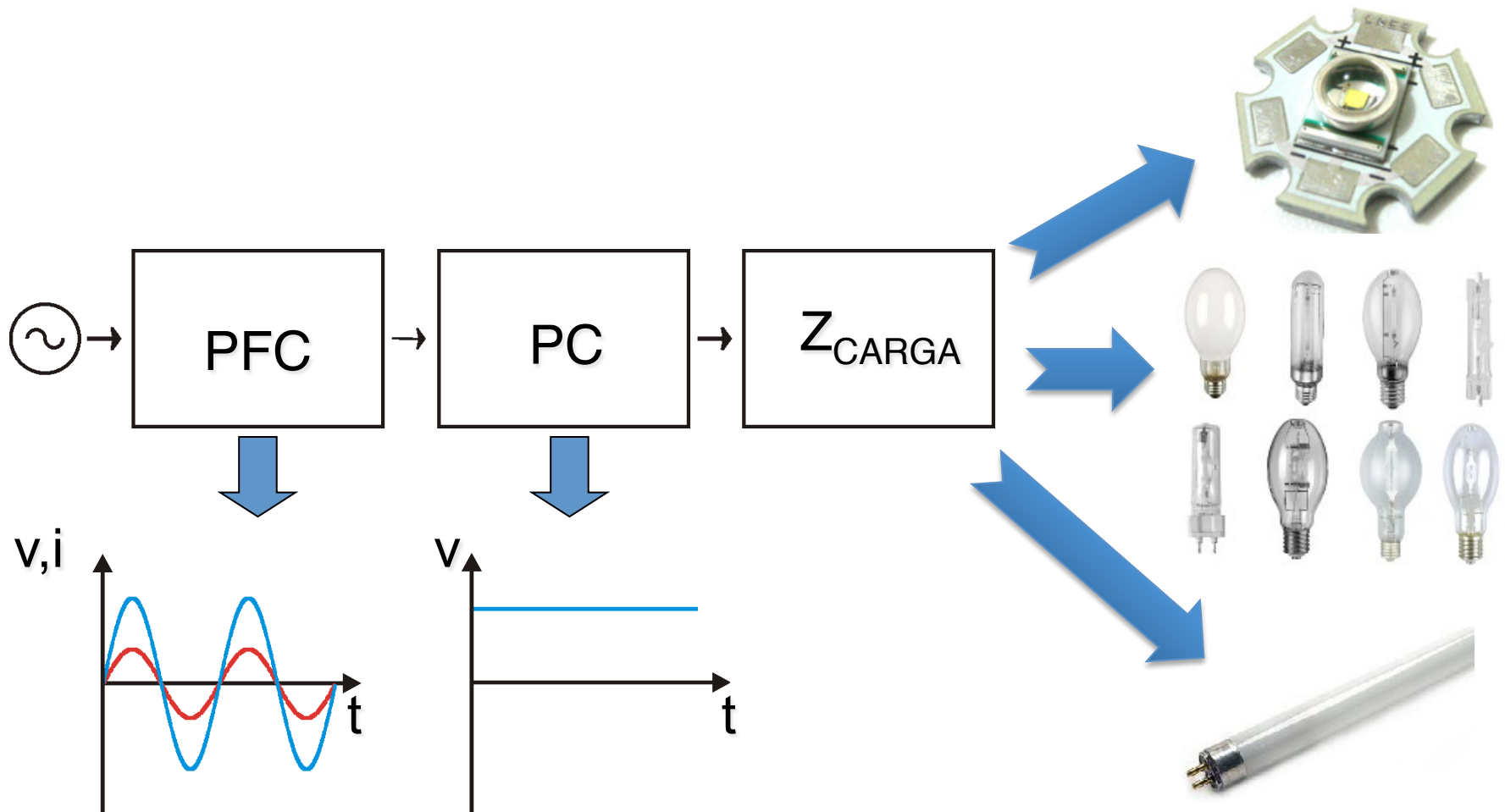
# Projeto do Capacitor de Filtro

Para  $K = 75$ ,  $z = 3.141,5 \text{ rad/s}$  e  $p = 18.849,0 \text{ rad/s}$

$$C_b < 8,49 \mu F$$

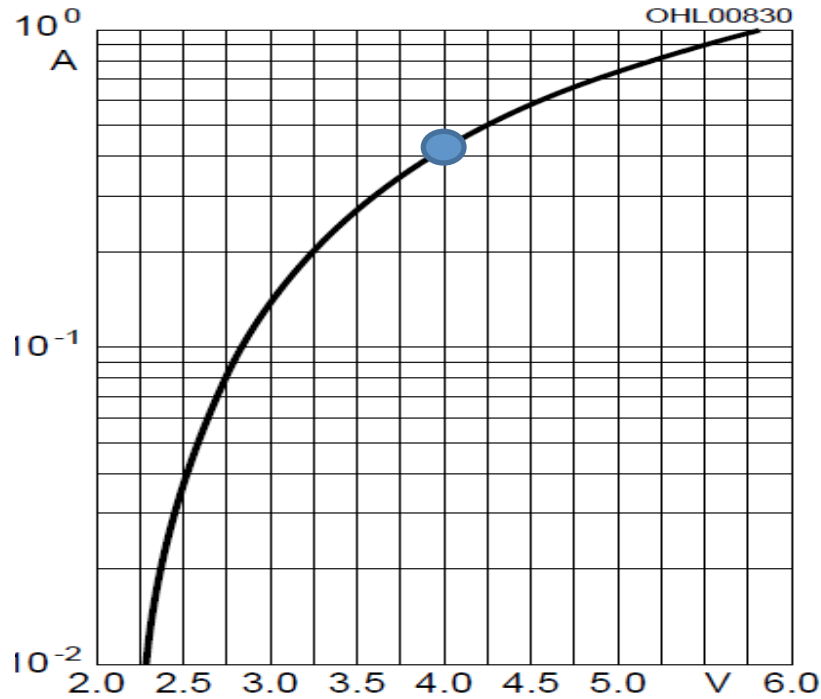


# Emprego de Dois Conversores Estáticos



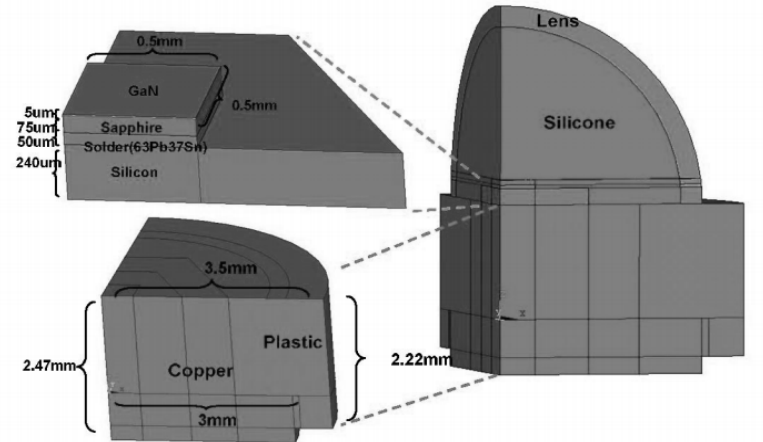
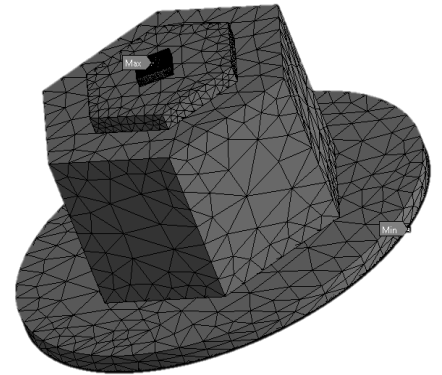
$$Z_{\text{CARGA}} = \text{LED}$$

Corrente



Tensão

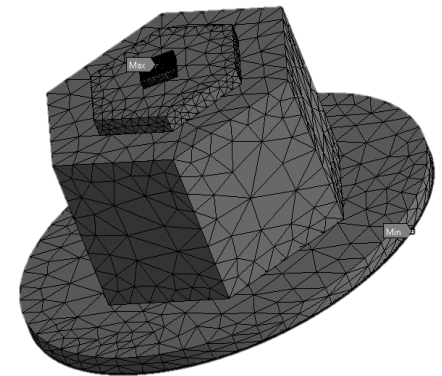
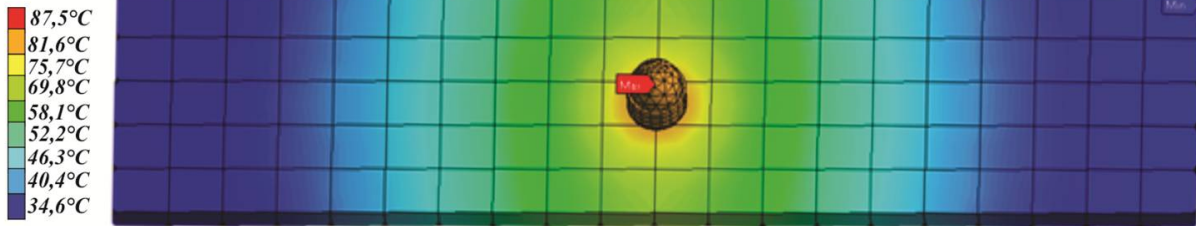
Alonso, IECON 2011



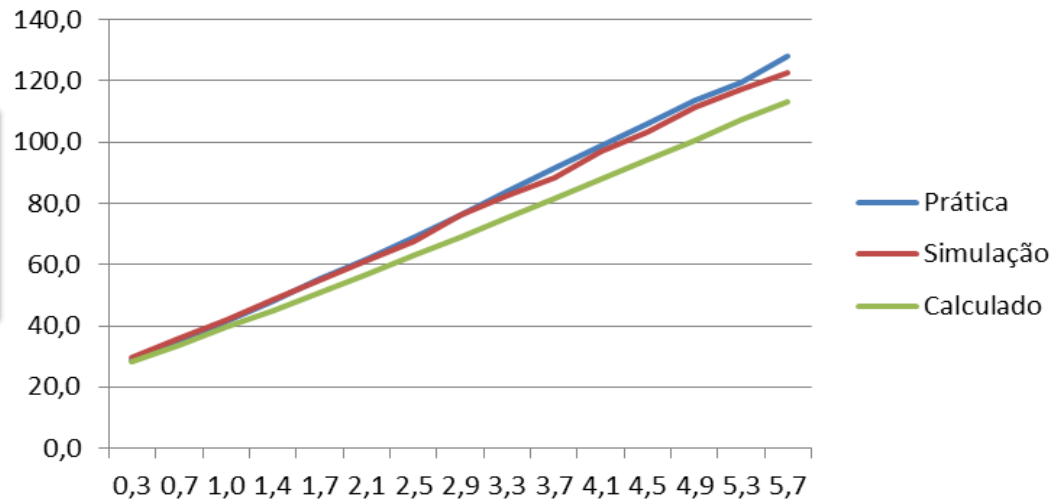
# LED

## Aspecto Térmico

MODELO DA ANÁLISE EM ELEMENTOS FINITOS



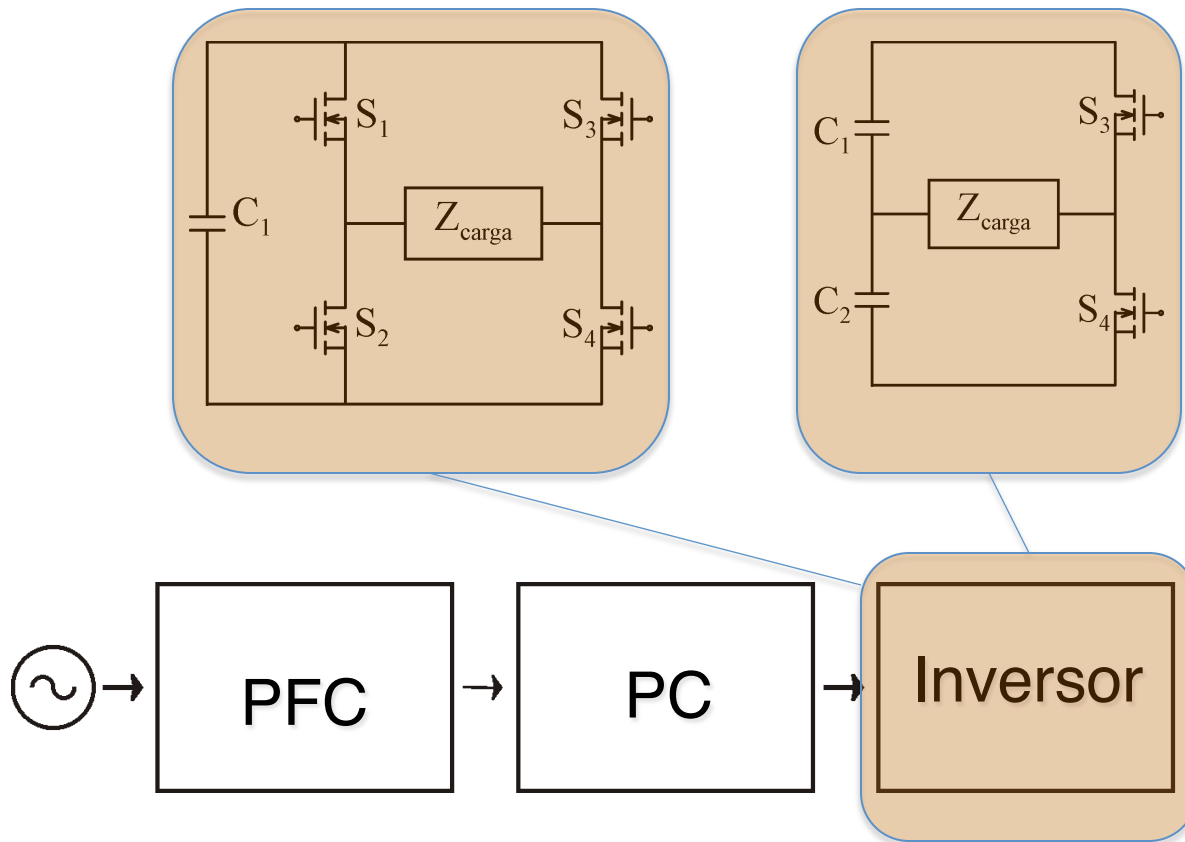
Temperatura de Junção



Potência



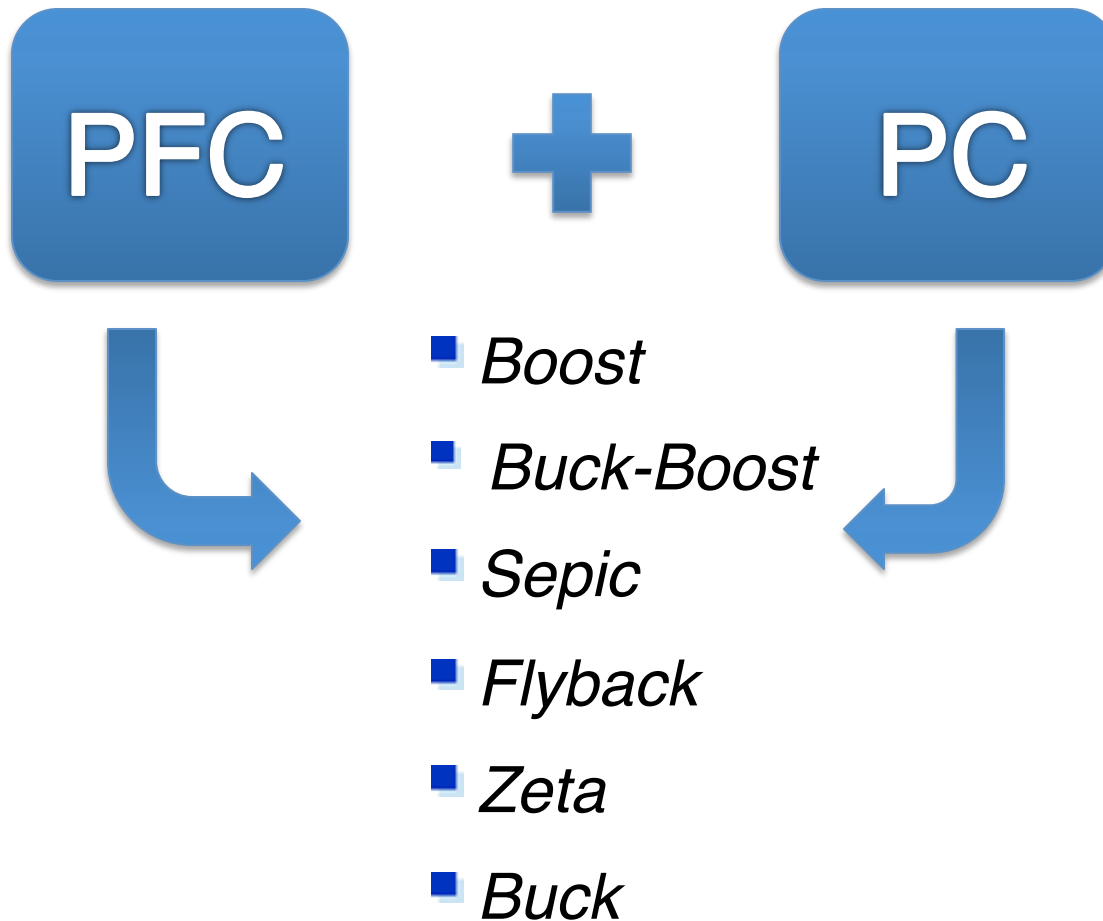
# Sistema Eletrônico Completo



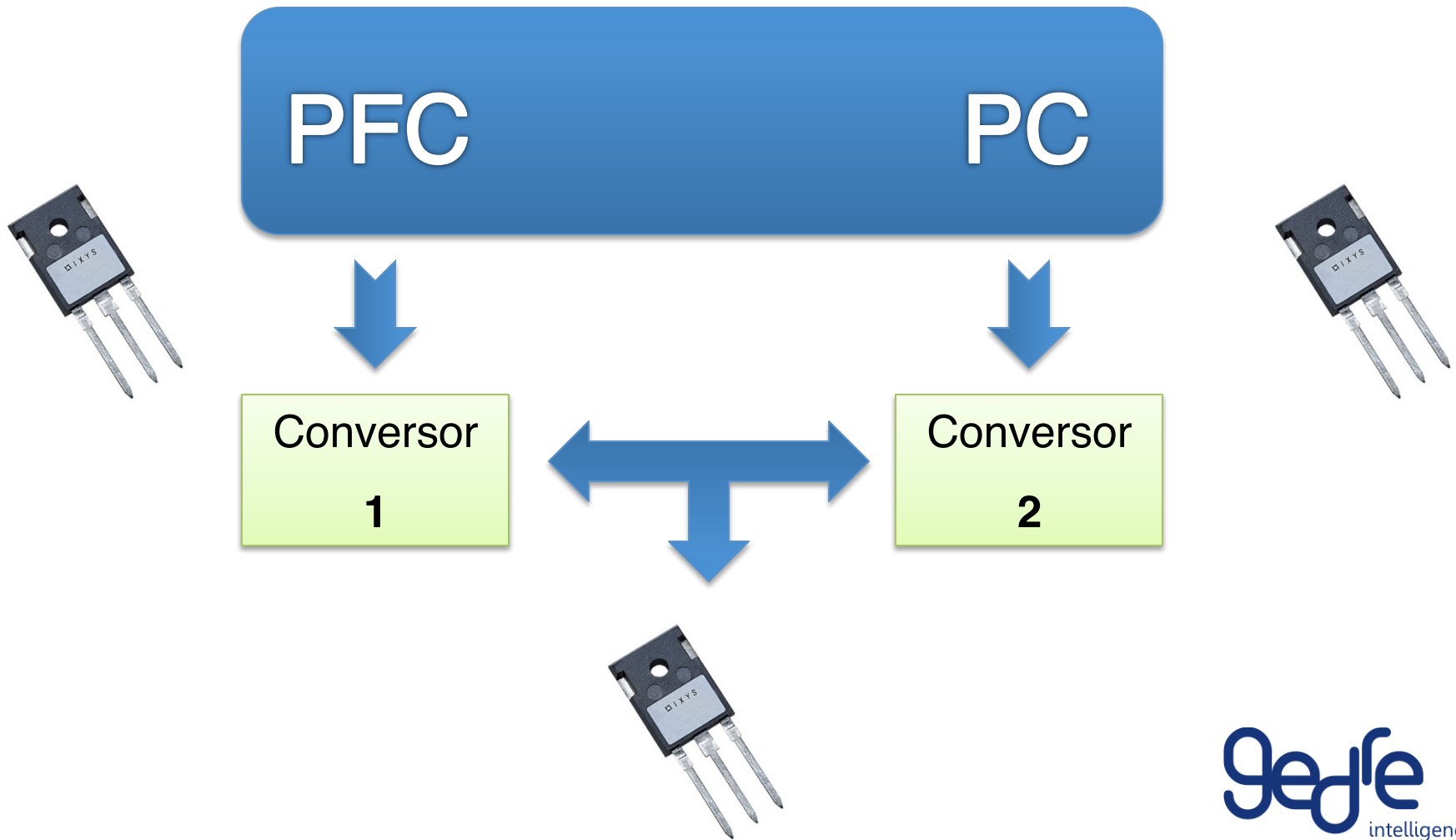
Lâmpadas  
de  
Descarga



# Etapas do Sistema Eletrônico



# Integração de Etapas

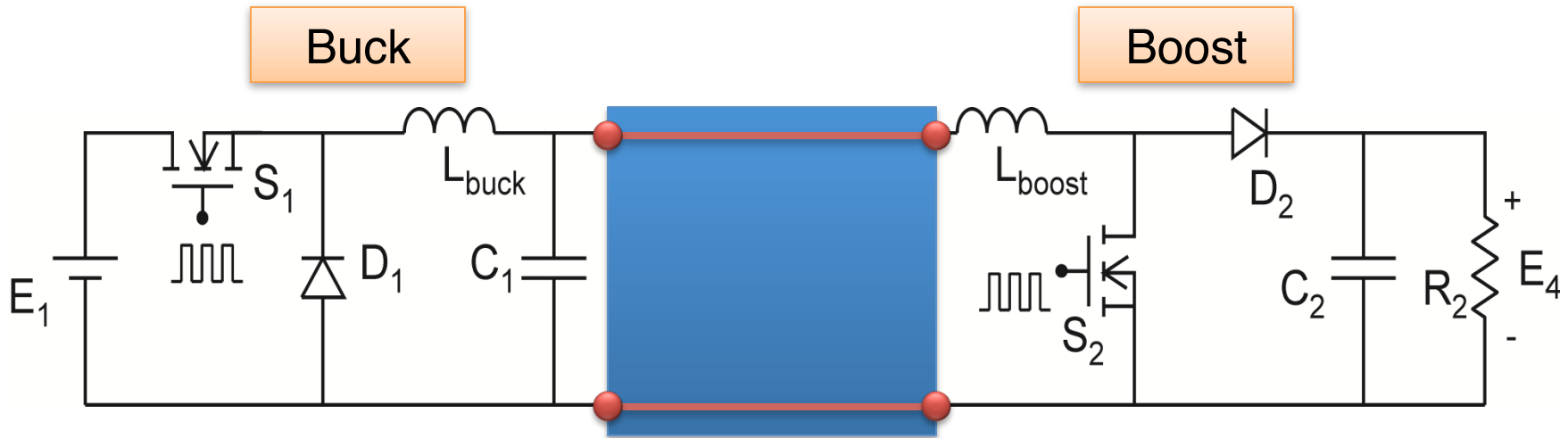


# Porque Integrar ?

- Menor peso e volume
- Maior eficiência energética
- Possibilidade de controle simplificado
- Redução de custo
- Aumento da Confiabilidade



# Metodologia de Integração



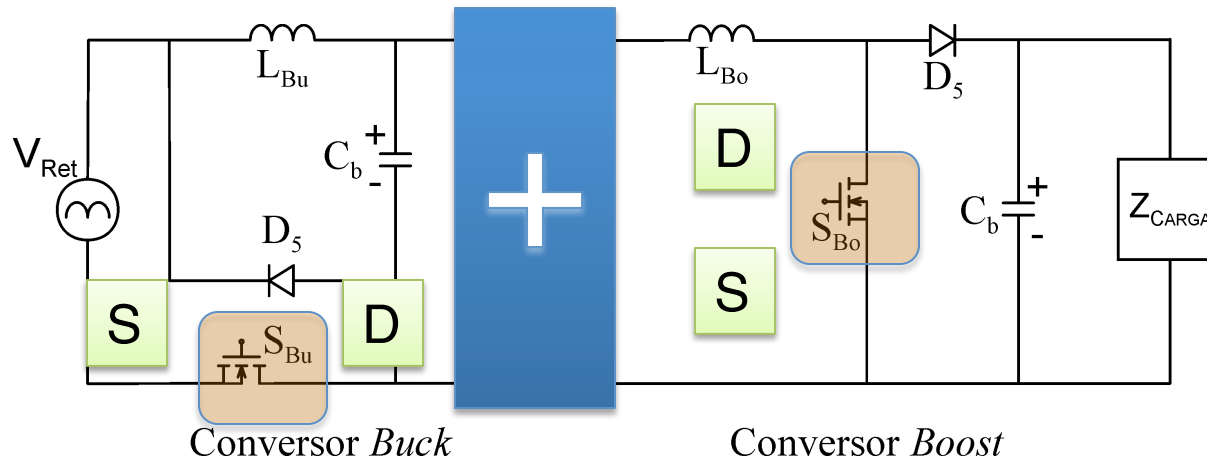
Utilização de dois semicondutores ativos

Drives de comando

Maior complexidade

Possibilidade de integração

# Metodologia de Integração



88

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 45, NO. 1, FEBRUARY 1998

## A Systematic and Unified Approach to Modeling PWM DC/DC Converters Based on the Graft Scheme

Tsai-Fu Wu, Member, IEEE, and Yu-Kai Chen

**Abstract**— A systematic and unified approach to modeling pulsewidth modulated (PWM) dc/dc converters based on the graft scheme is presented in this paper. With the graft scheme, the typical PWM switch-mode converters, such as buck–boost, boost–buck (Ćuk), Sepic, and dual Sepic, can be generated from the two basic converters, buck and boost. The small signal models of these converters can, therefore, be derived by properly combining those of the buck and boost. Using the proposed approach can help to yield highly related dynamic models of the converters in a family and, in addition, physical insights into the converters can be readily identified. This has made the proposed modeling method valuable and viable.

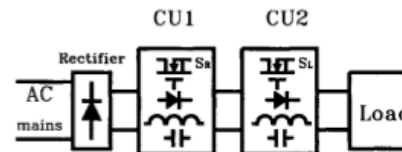
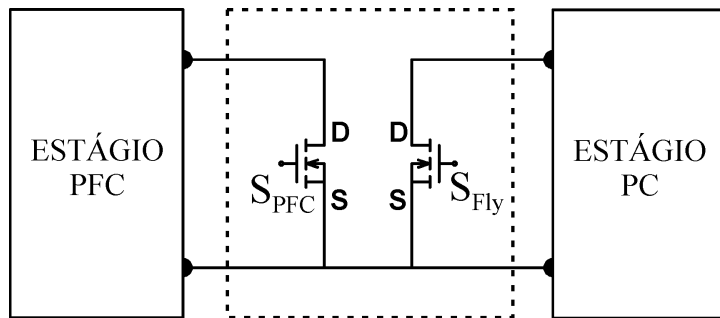


Fig. 1. Conceptual block diagram of converters in cascade connection.

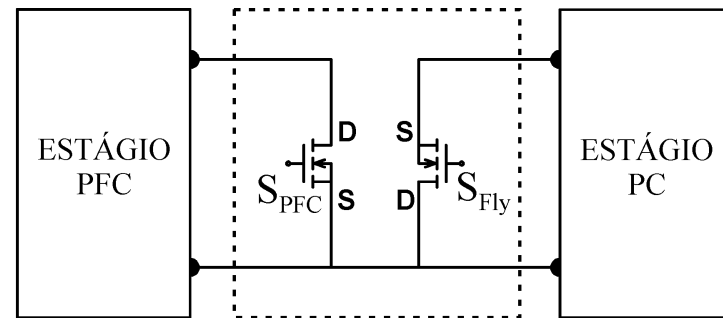
difficult to identify the kinship among the dynamic models of the converter family.

The graft and layer schemes [7], [8] proposed recently can

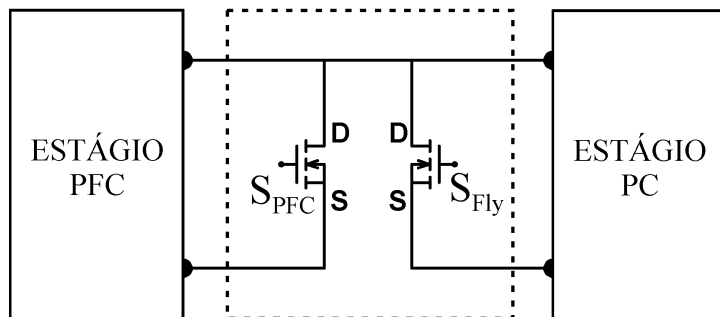
# Metodologia de Integração



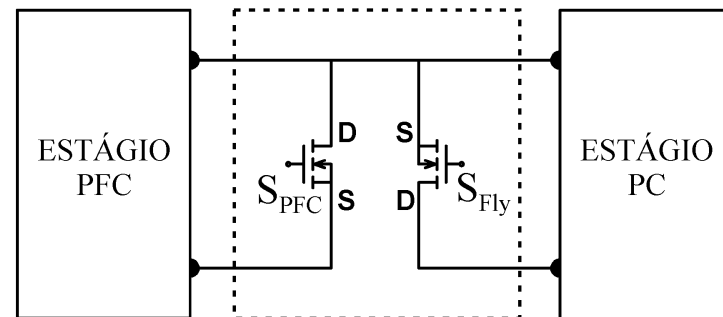
*Conexão Tipo T*



*Conexão Tipo II*



*Conexão Tipo I-T*

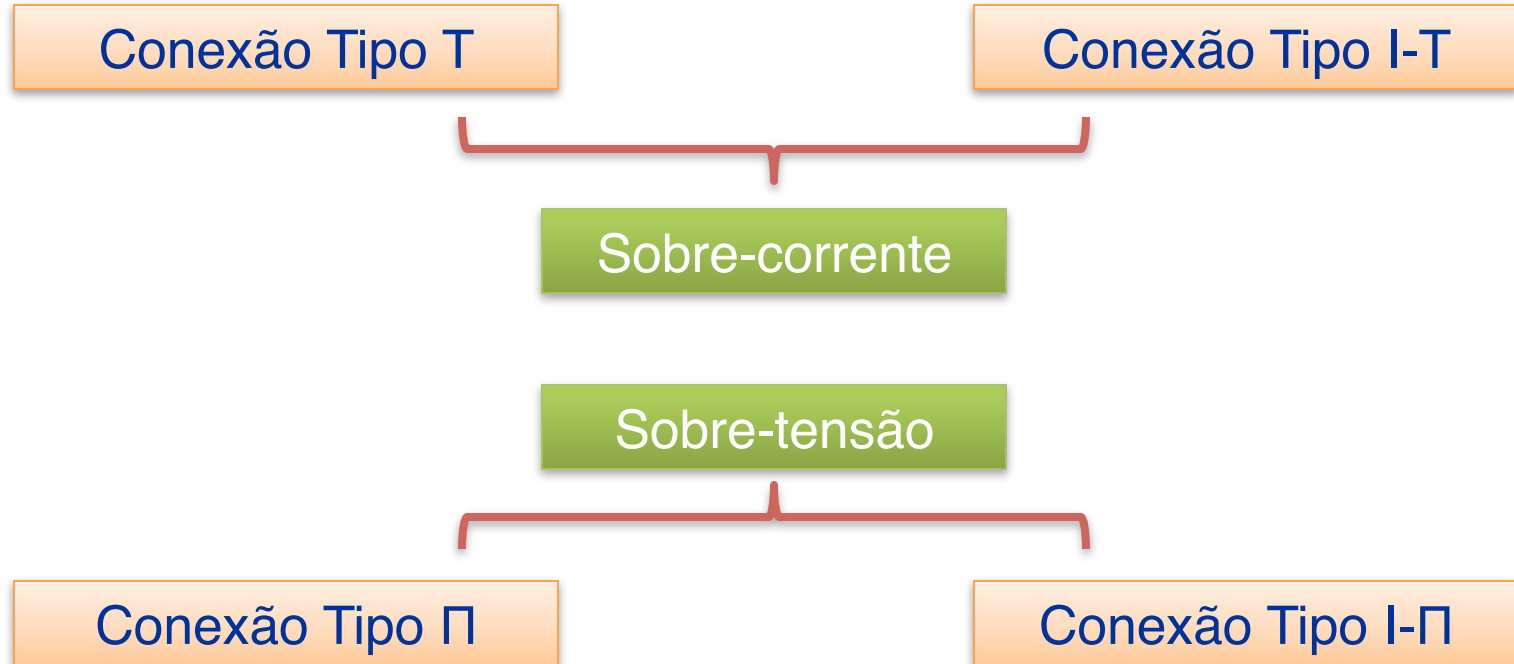


*Conexão Tipo I-II*

- Conexão entre os interruptores controlados de dois conversores DC/DC

# Metodologia de Integração

De acordo com o tipo de conexão entre os interruptores, determina-se se o interruptores compartilhado terá esforços de sobre-corrente ou sobre-tensão

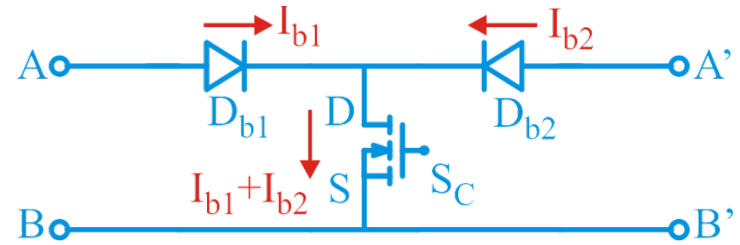
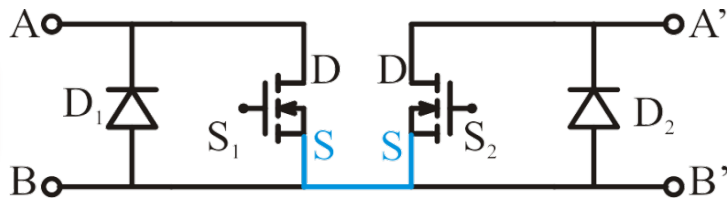




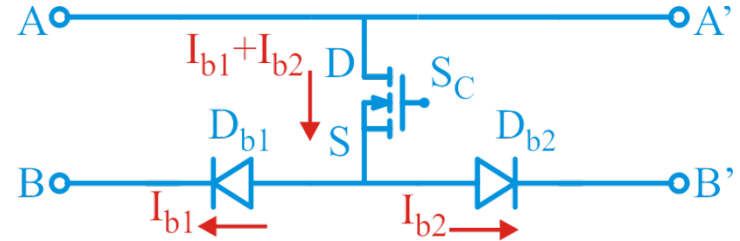
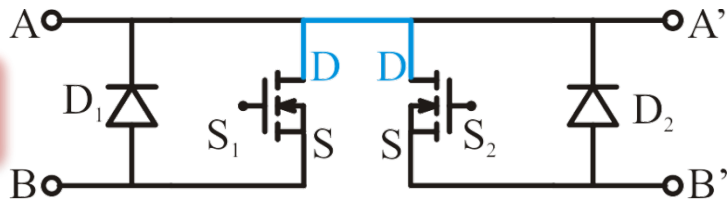
# Metodologia de Integração

## Sobre-corrente

*T*



*I-T*



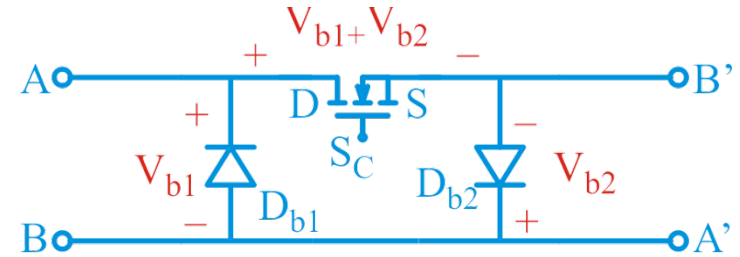
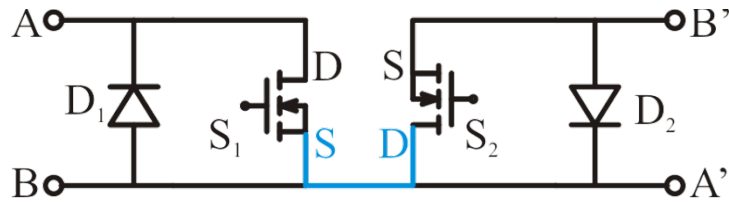
-A corrente no interruptor compartilhado equivale ao somatório das correntes dos interruptores antes da integração

- Diodos de bloqueio garantem a circulação de corrente unidirecionais

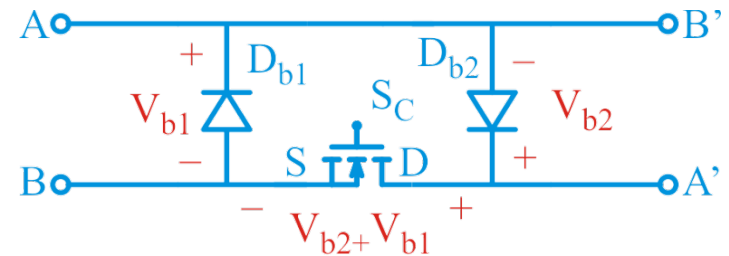
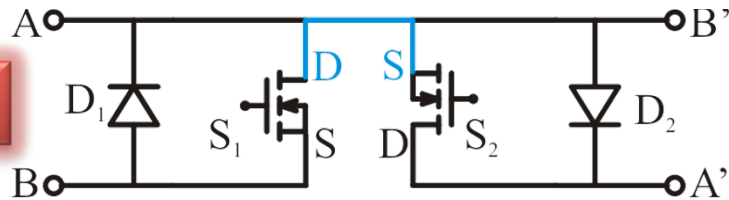
# Metodologia de Integração

## Sobre-tensão

$\Pi$



$I-\Pi$



-A tensão no interruptor compartilhado equivale ao somatório das tensões dos interruptores antes da integração

- Diodos de bloqueio equivalem aos diodos intrínsecos dos semicondutores antes da integração

# Metodologia de Integração

## Considerações

“A real necessidade dos diodos de bloqueio, deve ser analisada para cada tipo de integração sendo que, em alguns casos, não é necessário a utilização dos mesmos.”

“Antes de aplicar a técnica de integração, deve-se verificar se não há impedimento em relação a ambos os interruptores a serem integrados operarem com a mesma frequência e a mesma razão cíclica. “

# Metodologia de Integração

## - Resumindo:

### Características da integração:

- Deve existir um ponto em comum entre os dois interruptores.
- Operação na mesma frequência e na mesma razão cíclica.
- Redução do número de componentes ativos no circuito.
- Redução dos circuitos de comando.
- Aumento da confiabilidade do circuito.
- Esforços de tensão e corrente sobre o interruptor compartilhado.

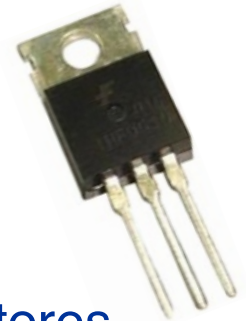


# Como Aplicar a Técnica de integração?

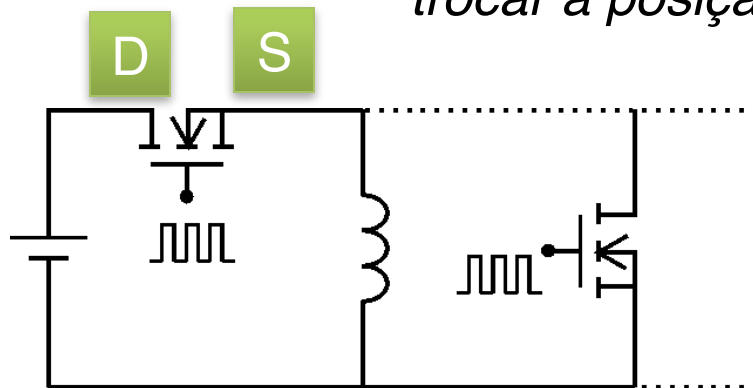
1º - Identificar os semicondutores ativos no circuito.

2º - Identificar os terminais *Gate-Dreno-Source*.

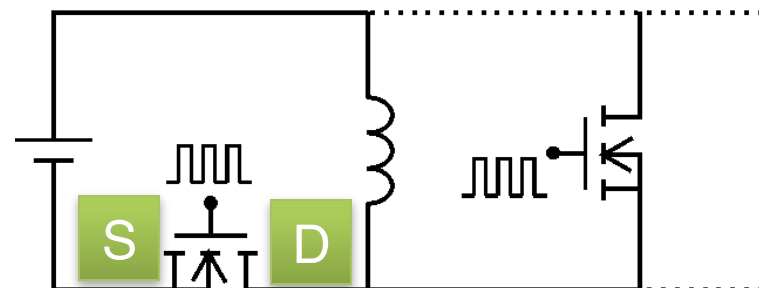
3º - Verificar se há algum ponto físico que ligue os interruptores.



*“Nesta etapa, devido a disposição dos semicondutores, talvez seja necessário fazer algumas adaptações no circuito como, por exemplo, trocar a posição de algum interruptor”*



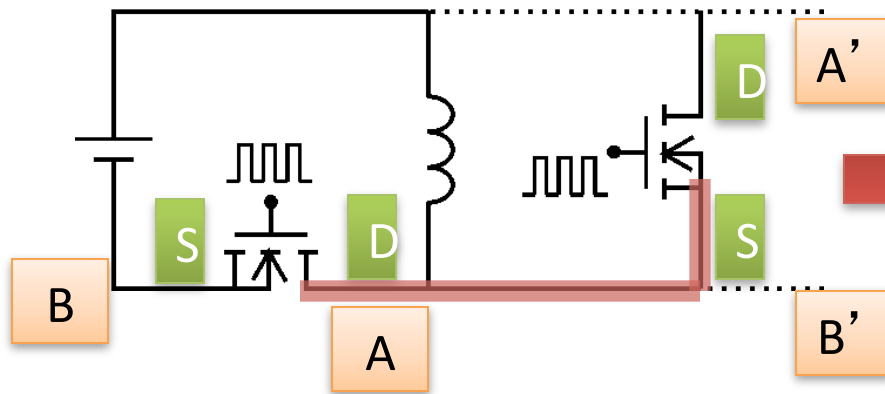
Sem ligação direta



Com ligação direta

# Como Aplicar a Técnica de integração?

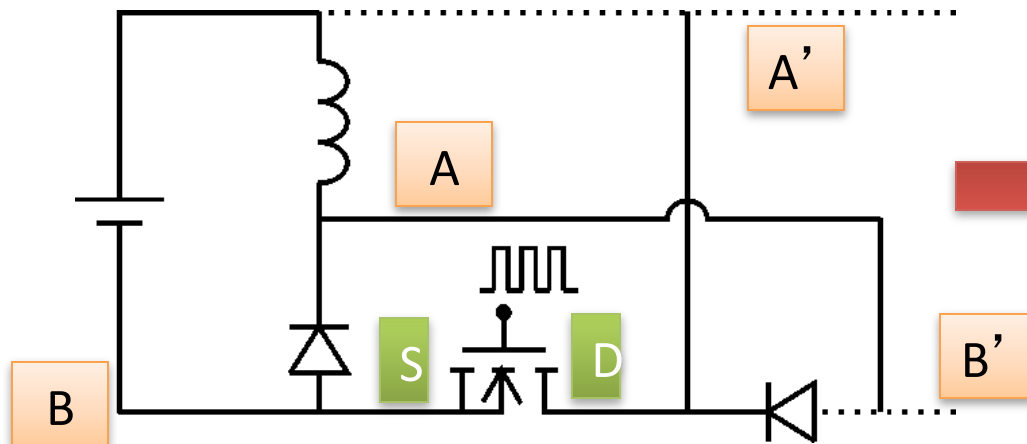
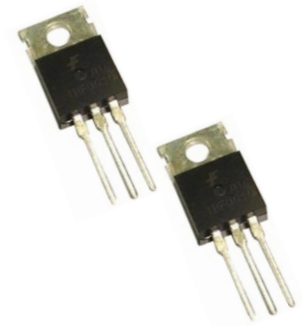
5º - Aplicar a técnica de substituição dos interruptores.



Ponte em comum  
*Dreno-Source*

**Tipo I-Π**

$$A = B'$$

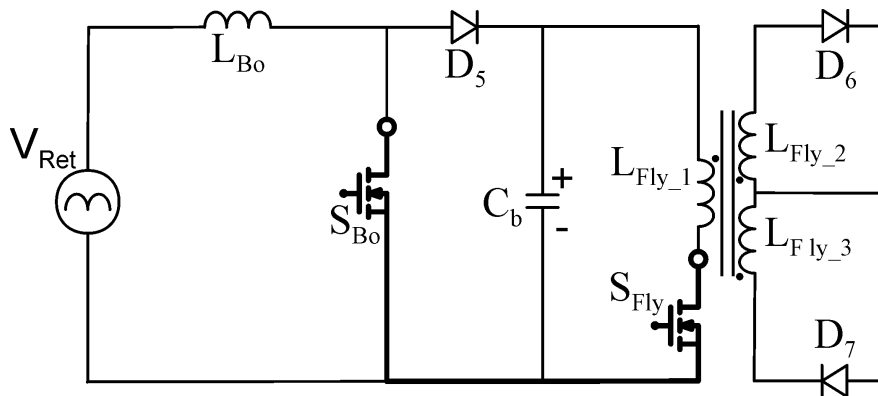


Sobre-tensão

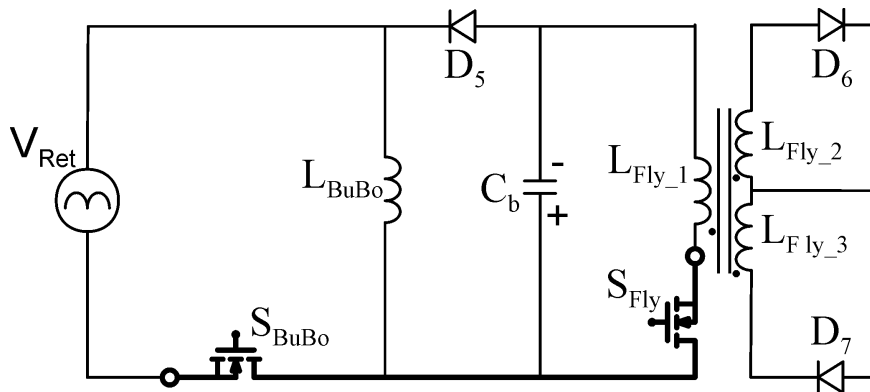


# Estudo de Caso

## Integrações com o Conversor Flyback



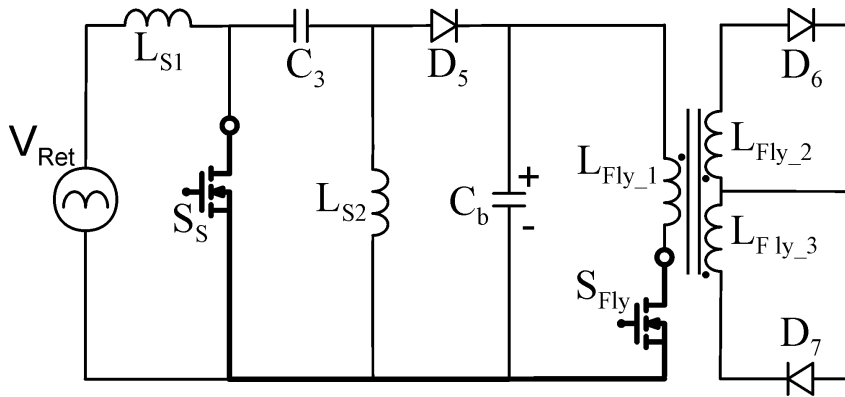
Boost + Flyback  
Conexão tipo T



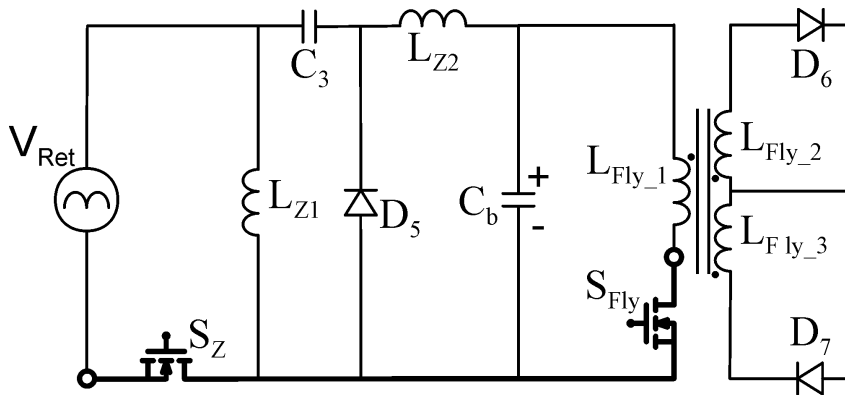
Buck-Boost + Flyback  
Conexão tipo I-T

# Estudo de Caso

## Integrações com o Conversor Flyback



Sepic + Flyback  
Conexão tipo T

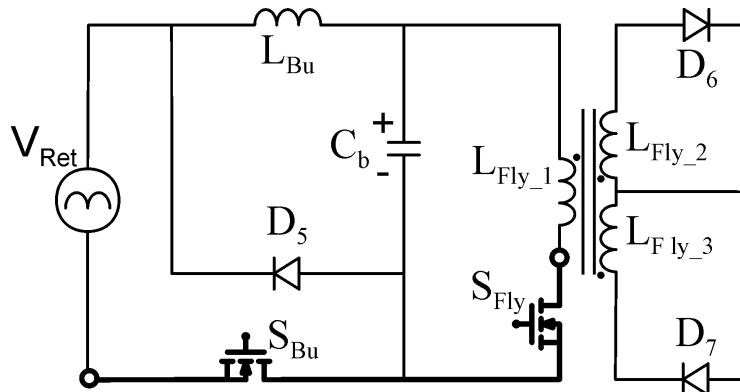


Zeta + Flyback  
Conexão tipo I- II

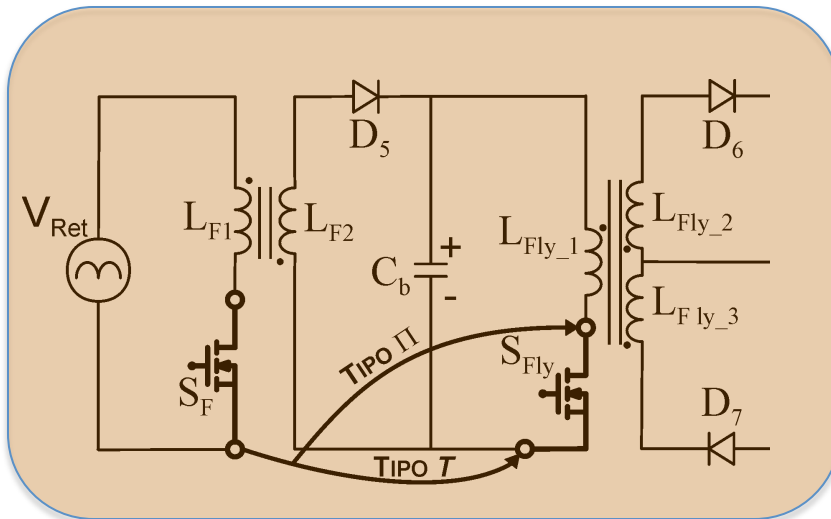


# Estudo de Caso

## Integrações com o Conversor Flyback



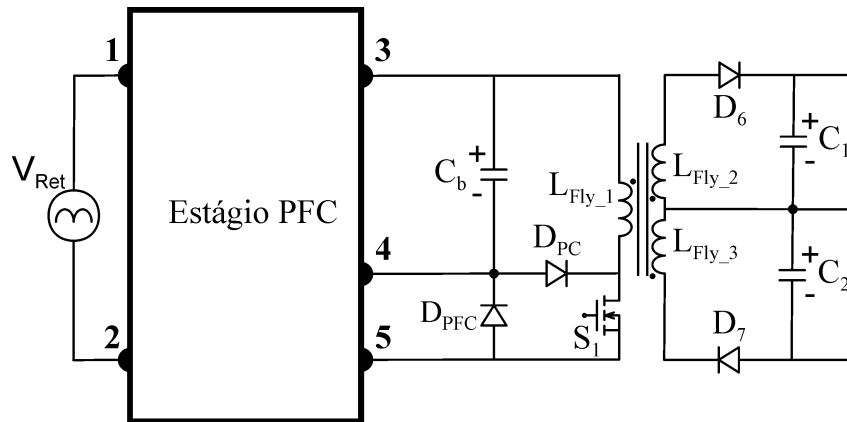
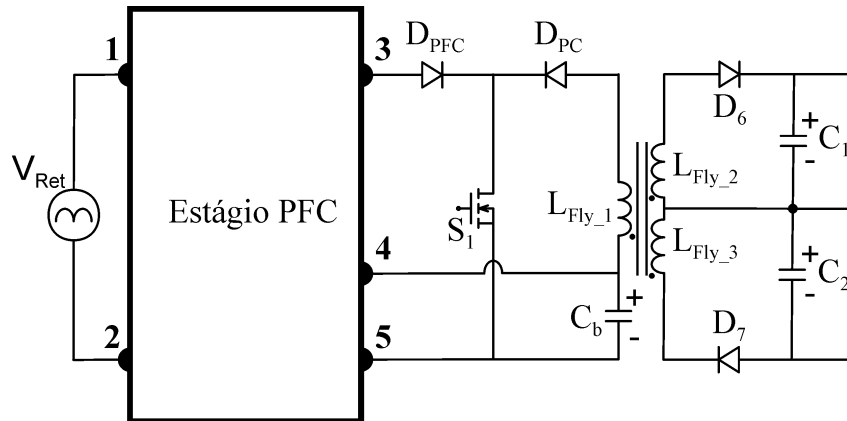
Buck + Flyback  
Conexão tipo I- II



Flyback + Flyback  
Conexão tipo I- II ou T

# Estudo de Caso

## Integrações com o Conversor Flyback



Sobre-corrente

Conexão Tipo I-T

Conexão Tipo T

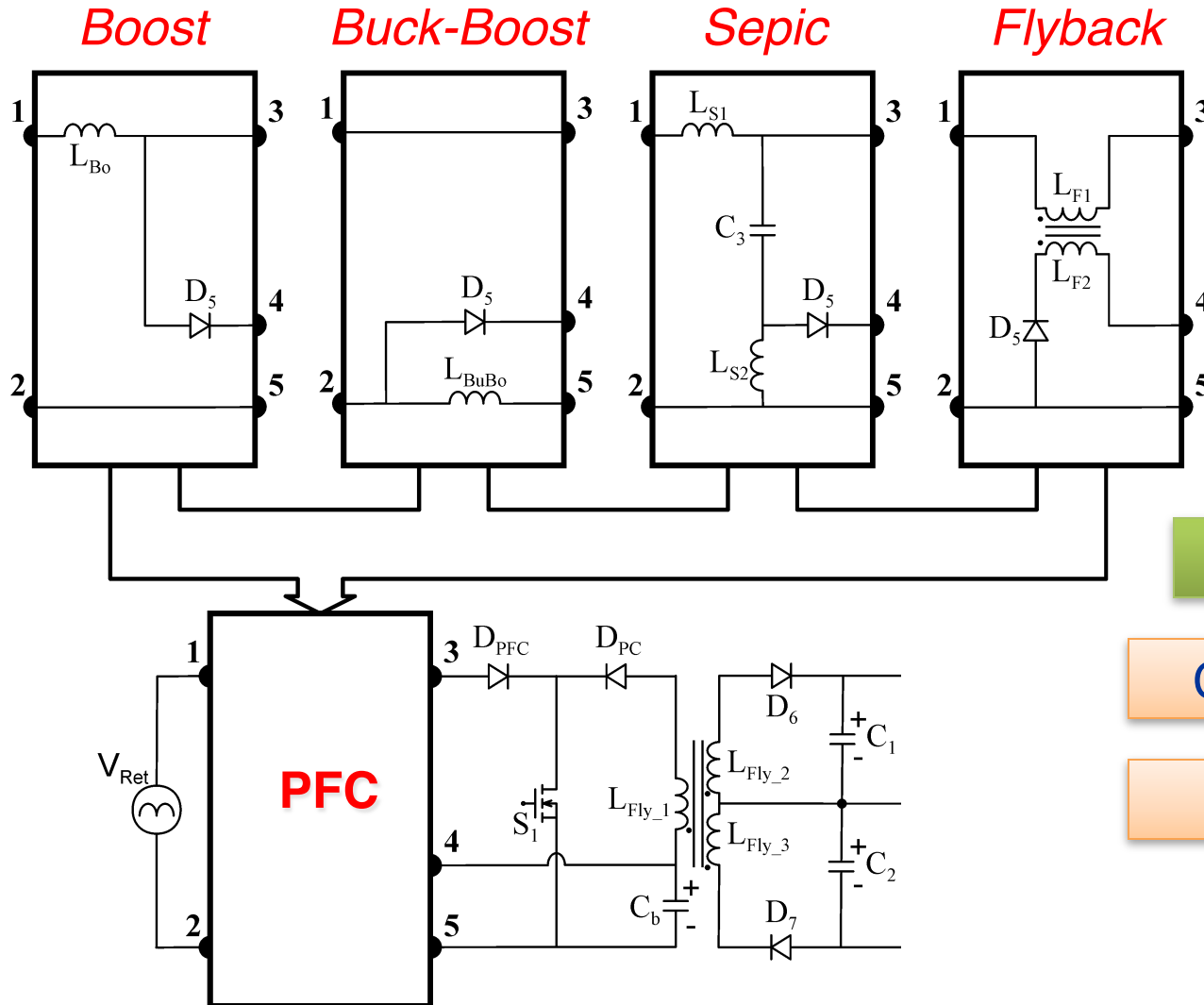
Sobre-tensão

Conexão Tipo I-Π

Conexão Tipo Π

# Estudo de Caso

## Integrações com o Conversor Flyback



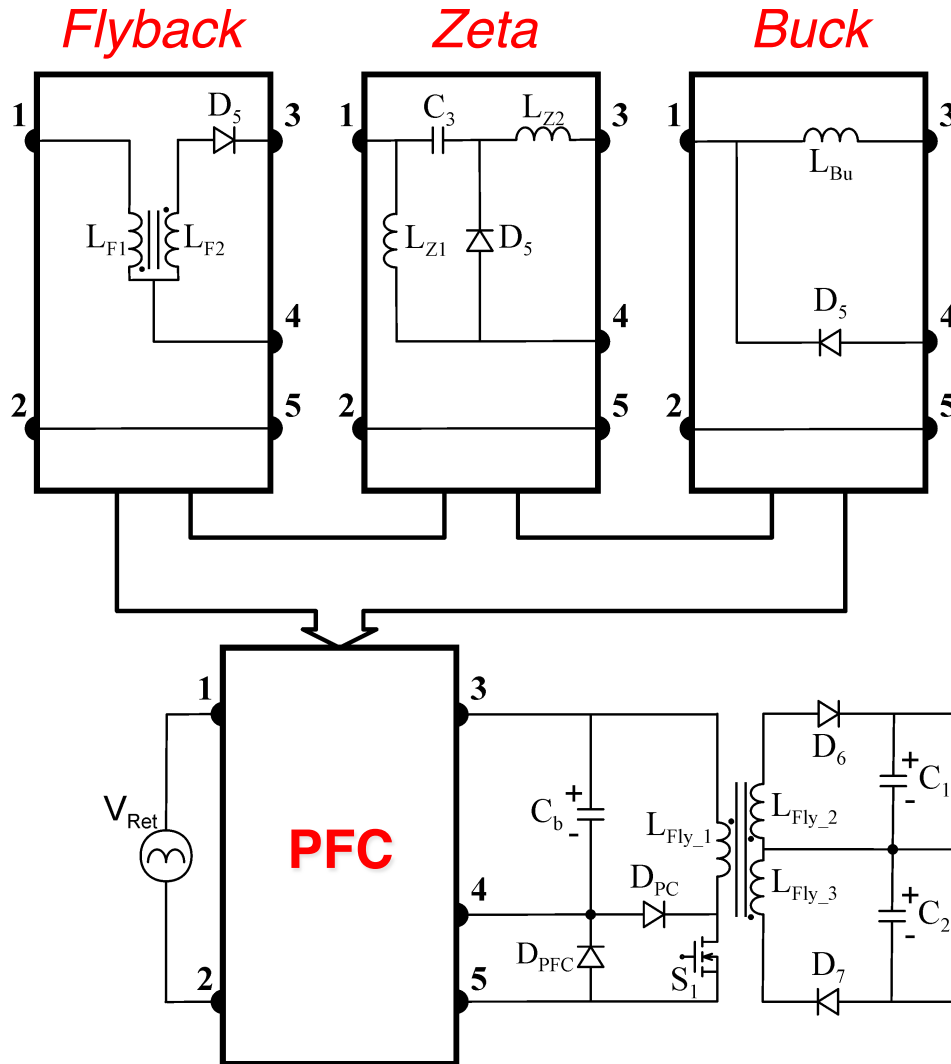
Sobre-corrente

Conexão Tipo I-T

Conexão Tipo T

# Estudo de Caso

## Integrações com o Conversor Flyback



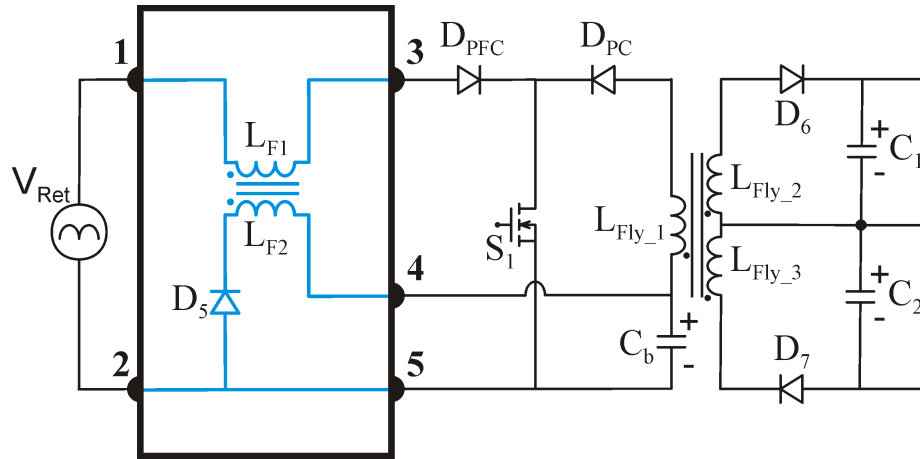
Sobre-tensão

Conexão Tipo I- $\Pi$

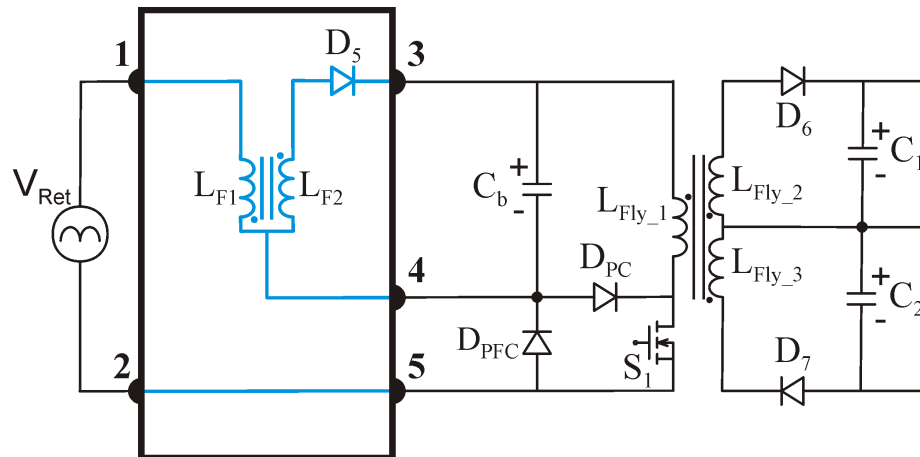
Conexão Tipo  $\Pi$

# Integração de Conversores

## Flyback + Flyback



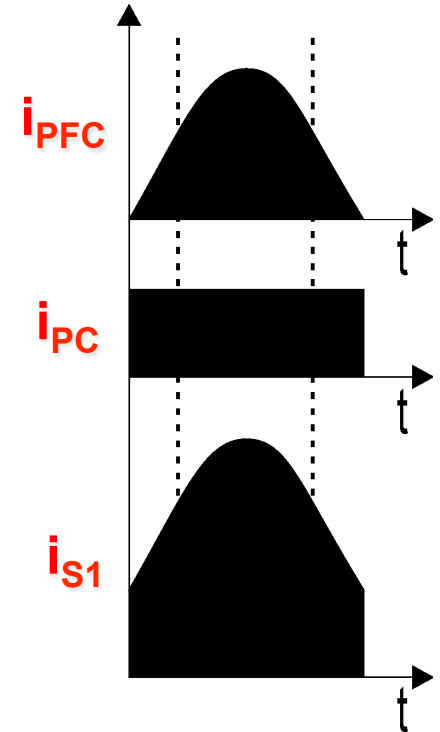
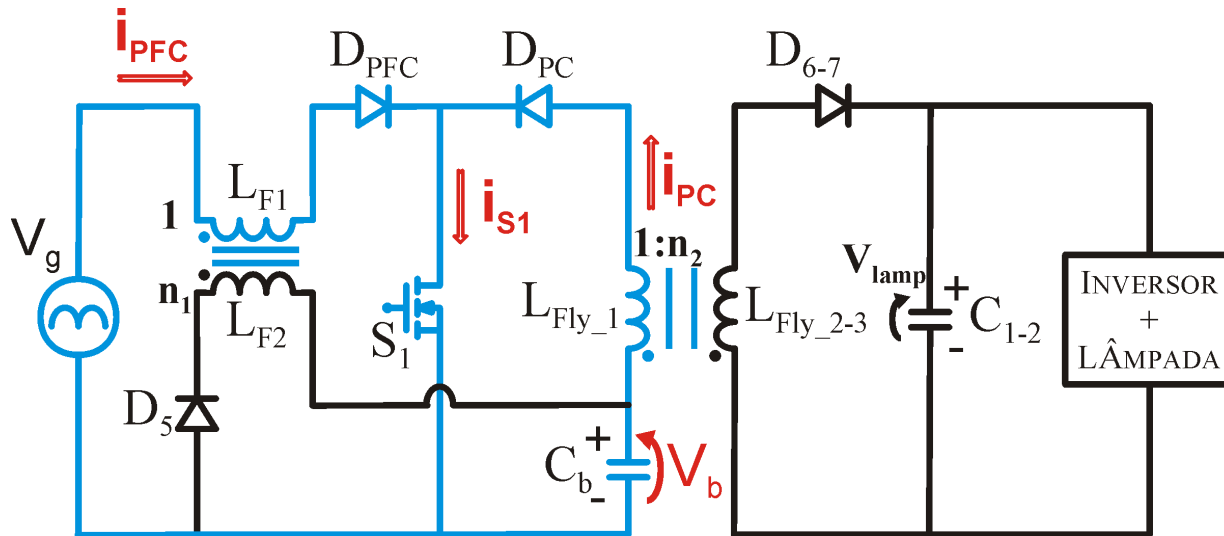
Sobre-corrente



Sobre-tensão

# Integração de Conversores

## Flyback + Flyback



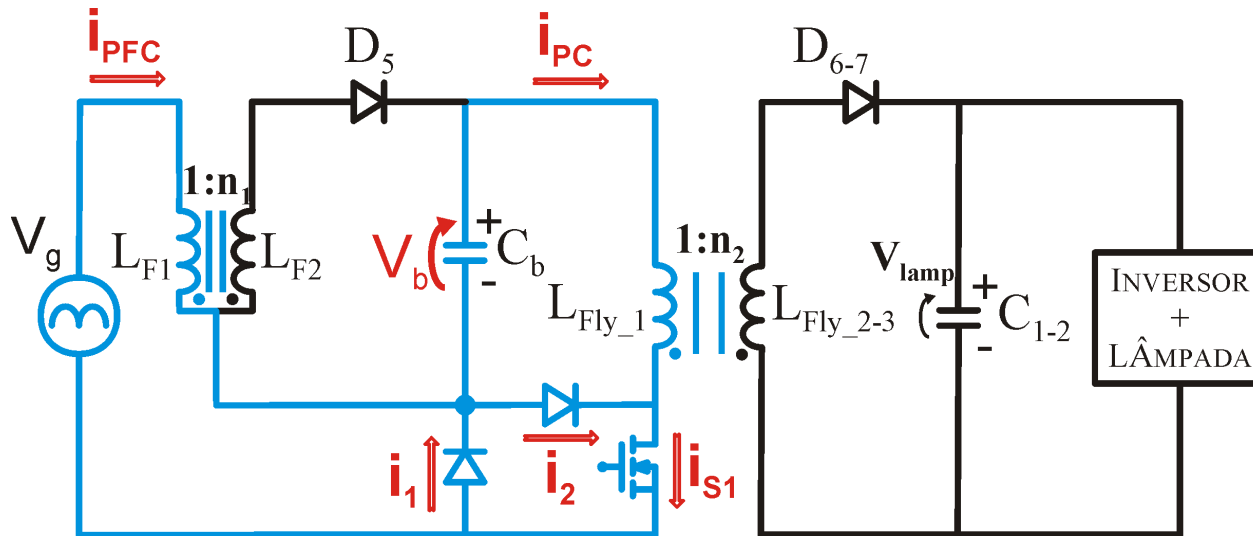
$$i_{S1} = i_{PFC} + i_{PC}$$

$$V_{S1} = \max\left(\frac{V_g}{1-D}, \frac{V_B}{1-D}\right)$$

Sobre-corrente

# Integração de Conversores

## Flyback + Flyback



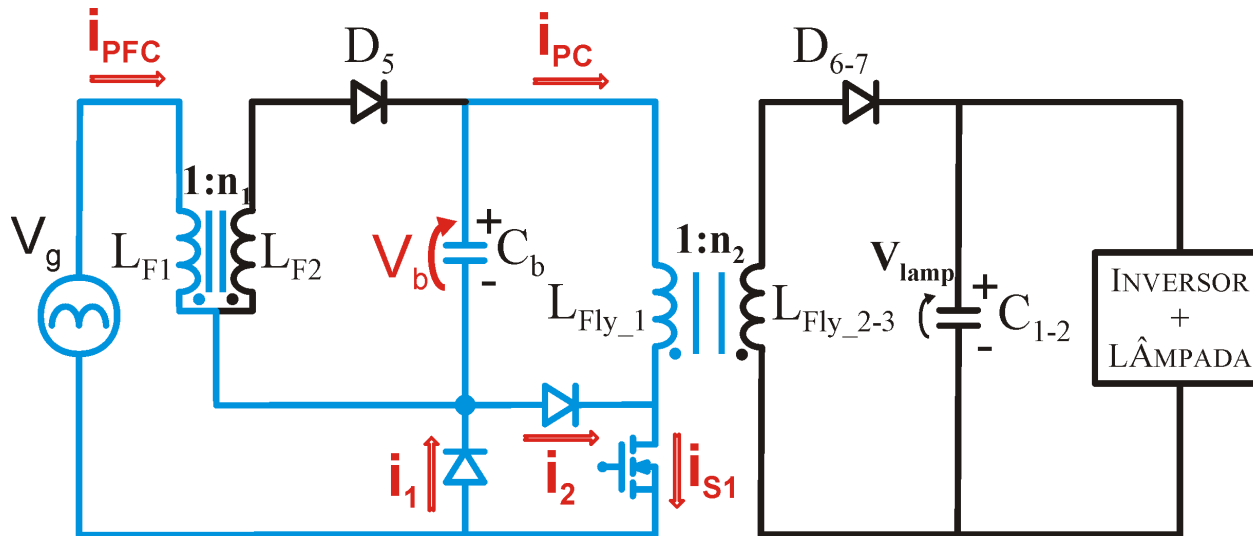
$$i_{S1} = i_{PFC} \text{ or } i_{S1} = i_{PC}$$

$$V_{S1} = \frac{V_g + V_B}{1 - D}$$

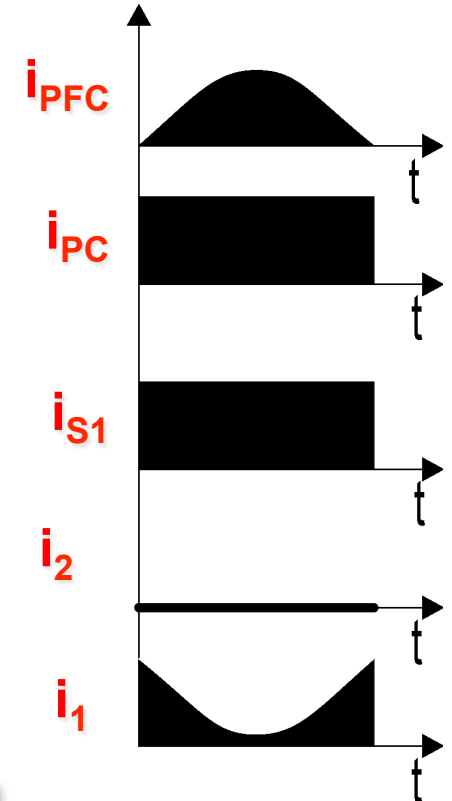
Sobre-tensão

# Integração de Conversores

## Flyback + Flyback



$$i_{PC} \text{ (pico)} > i_{PFC} \text{ (pico)}$$



$$i_{S1} = i_{PFC} \text{ or } i_{S1} = i_{PC}$$

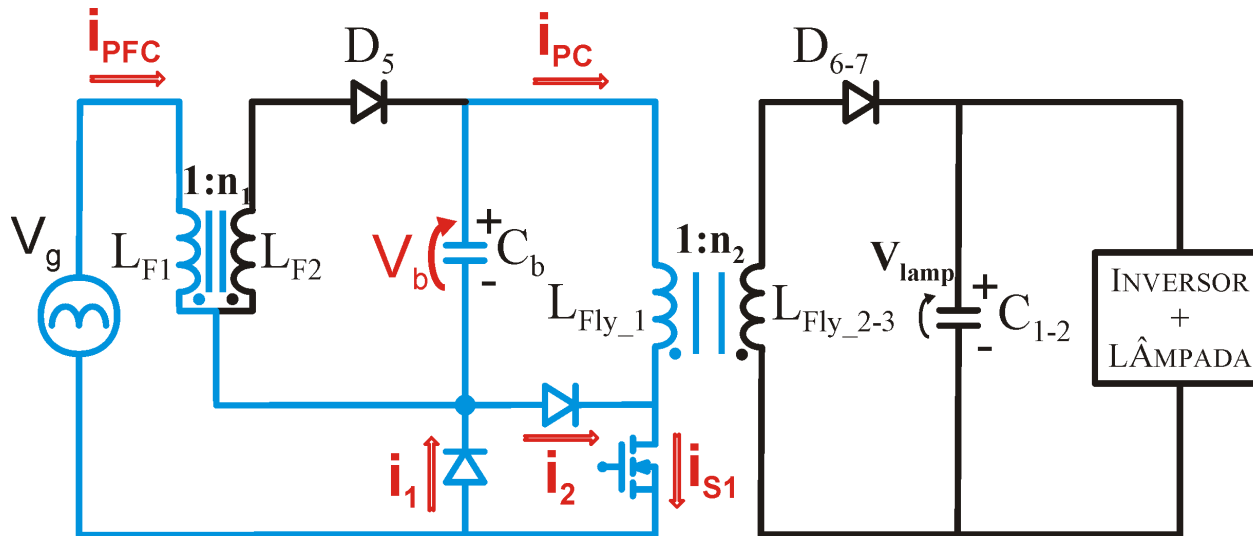
$$V_{S1} = \frac{V_g + V_B}{1 - D}$$

Sobre-tensão



# Integração de Conversores

## Flyback + Flyback

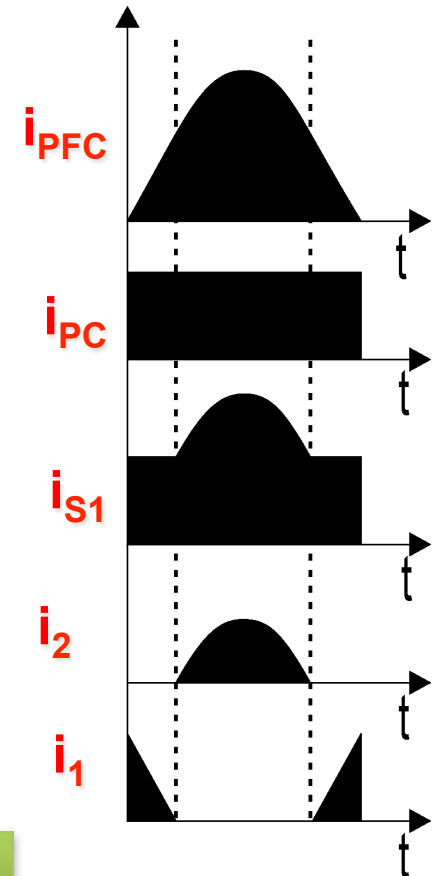


$$i_{S1} = i_{PFC} \text{ or } i_{S1} = i_{PC}$$

$$V_{S1} = \frac{V_g + V_B}{1 - D}$$

Sobre-tensão

$i_{PC} \text{ (pico)} < i_{PFC} \text{ (pico)}$



# Modos de Operação

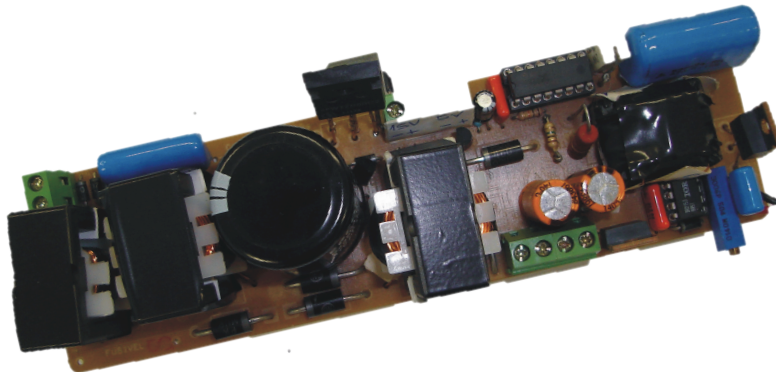
## Conversores Integrados

- Dois conversores Operam em DCM

- Dois conversores Operam em CCM

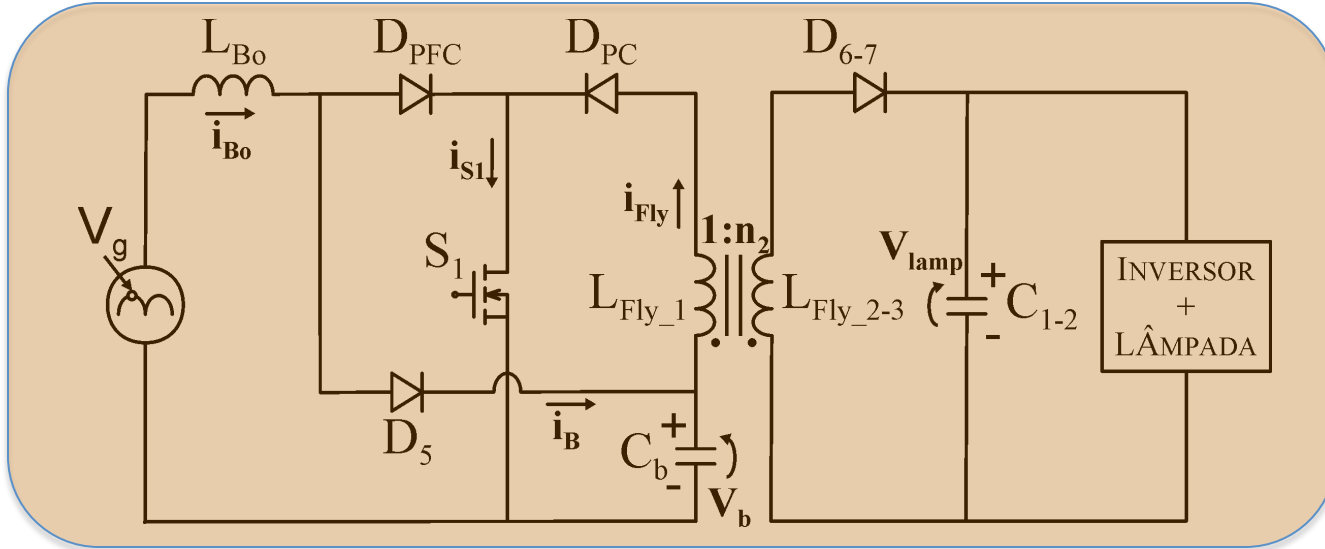
-PFC em DCM e PC em CCM

-PFC em CCM e PC em DCM



# Dois Conversores Operam em DCM

## Equacionamento Boost - Flyback



$$I_{Bo(pico)} = \frac{V_g}{L_{Bo}} \cdot D \cdot T_s$$

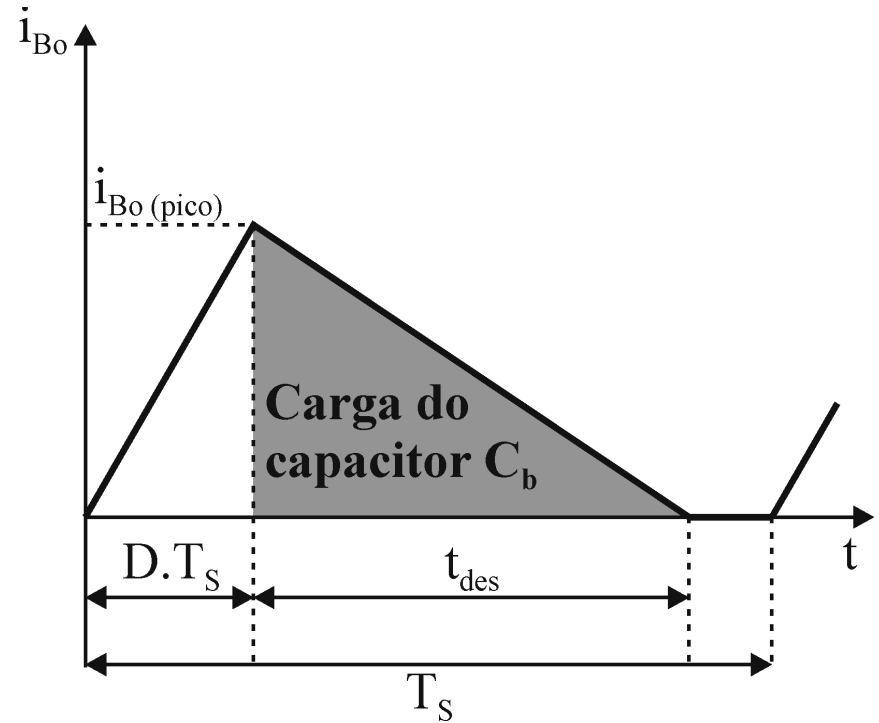
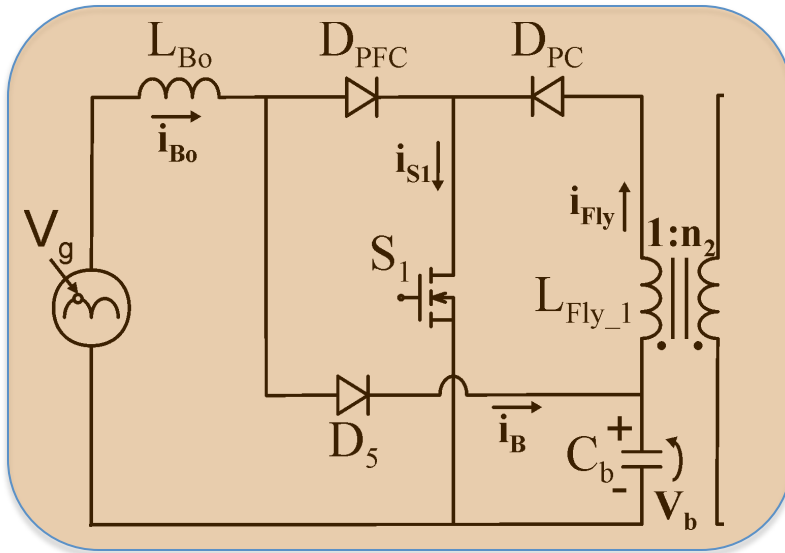
$$R_{Fly} = \frac{2 \cdot L_{Fly\_1} \cdot f_s}{D^2}$$

- Se a corrente média no capacitor  $C_b$  é igual a zero

$$V_b = I_B \cdot R_{Fly} \quad I_B = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \frac{I_{Bo(pico)} \cdot t_{des}}{2} \cdot \frac{1}{T_s} \cdot dt$$

# Dois Conversores Operam em DCM

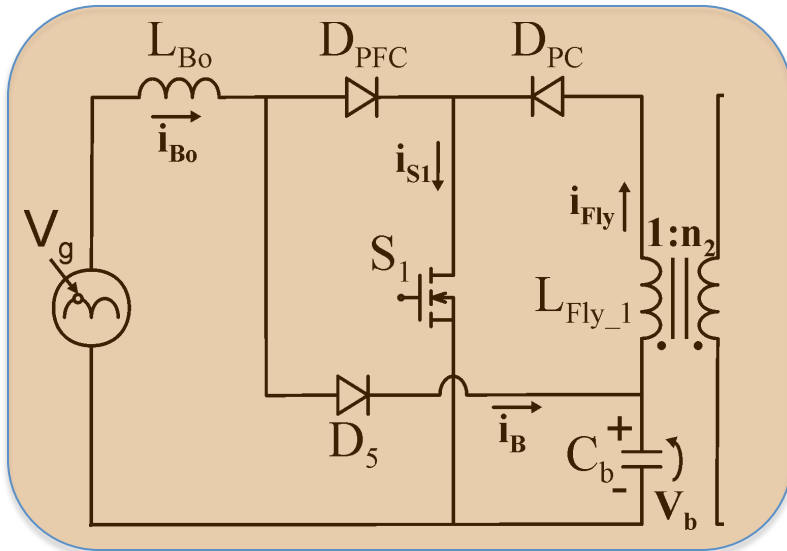
## Equacionamento Boost - Flyback



$$\frac{V_g}{L_{Bo}} \cdot D \cdot T_s = \frac{V_b - V_g}{L_{Bo}} \cdot t_{des}$$

# Dois Conversores Operam em DCM

## Equacionamento Boost - Flyback



$$\frac{V_g}{L_{Bo}} \cdot D \cdot T_s = \frac{V_b - V_g}{L_{Bo}} \cdot t_{des}$$

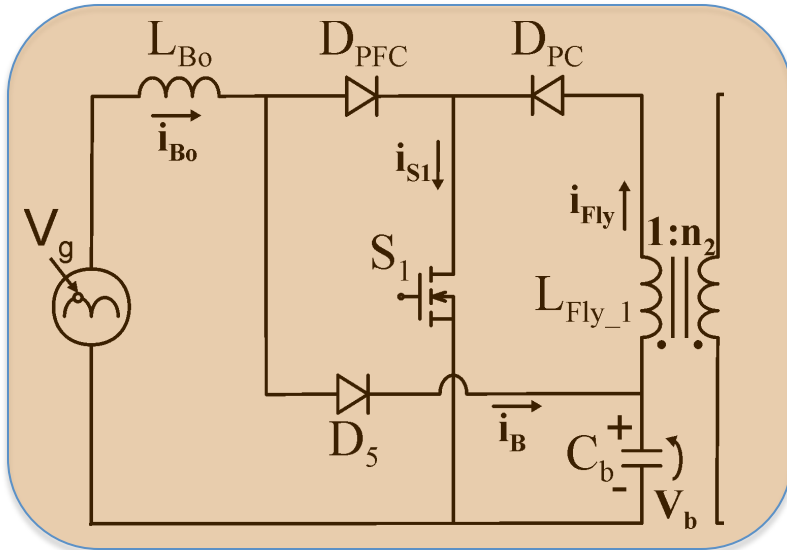
$$I_B = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \frac{I_{Bo(pico)} \cdot t_{des}}{2} \cdot \frac{1}{T_s} \cdot dt$$

$$I_B = \frac{V_g^2 \cdot D^2 \cdot T_s}{2 \cdot \pi \cdot L_{Bo}} \cdot \int_0^{\pi} \frac{\text{sen}^2(\omega t)}{V_b - V_g \cdot \text{sen}(\omega t)} \cdot d\omega t$$

$$\int_0^{\pi} \frac{m \cdot \text{sen}^2(\omega t)}{1 - m \cdot \text{sen}(\omega t)} = -2 - \frac{\pi}{m} + \frac{2}{m \cdot \sqrt{1 - m^2}} \cdot \left( \frac{\pi}{2} + a \cdot \text{sen}(m) \right) = Y(m)$$

# Dois Conversores Operam em DCM

## Equacionamento Boost - Flyback



$$\frac{V_g}{V_b} = m$$

$$\frac{L_{Bo}}{L_{Fly\_1}} = \alpha$$

Quando ambos os conversores integrados operam em DCM a tensão de barramento **independe da razão cíclica, da frequência ou da carga**

$$I_B = \frac{V_g \cdot D^2 \cdot Y(m)}{2 \cdot \pi \cdot L_{Bo} \cdot f_s}$$

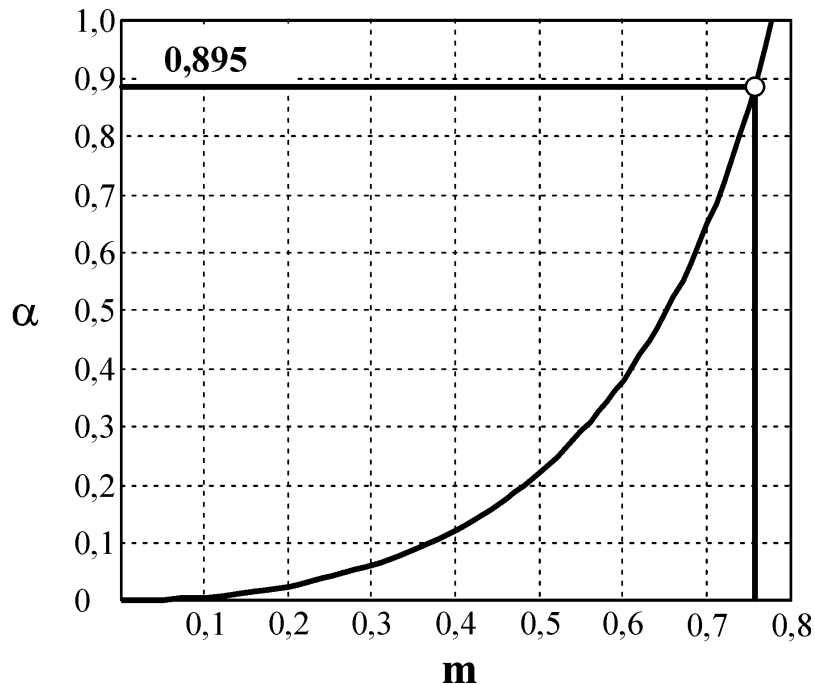
$$R_{Fly} = \frac{2 \cdot L_{Fly\_1} \cdot f_s}{D^2}$$

$$V_b = I_B \cdot R_{Fly}$$

$$\alpha = \frac{m}{\pi} \cdot Y(m)$$

# Dois Conversores Operam em DCM

## Equacionamento Boost - Flyback



$$\frac{V_g}{V_b} = \frac{311}{410} = m = 0,76$$

$$\alpha = \frac{m}{\pi} \cdot Y(m)$$

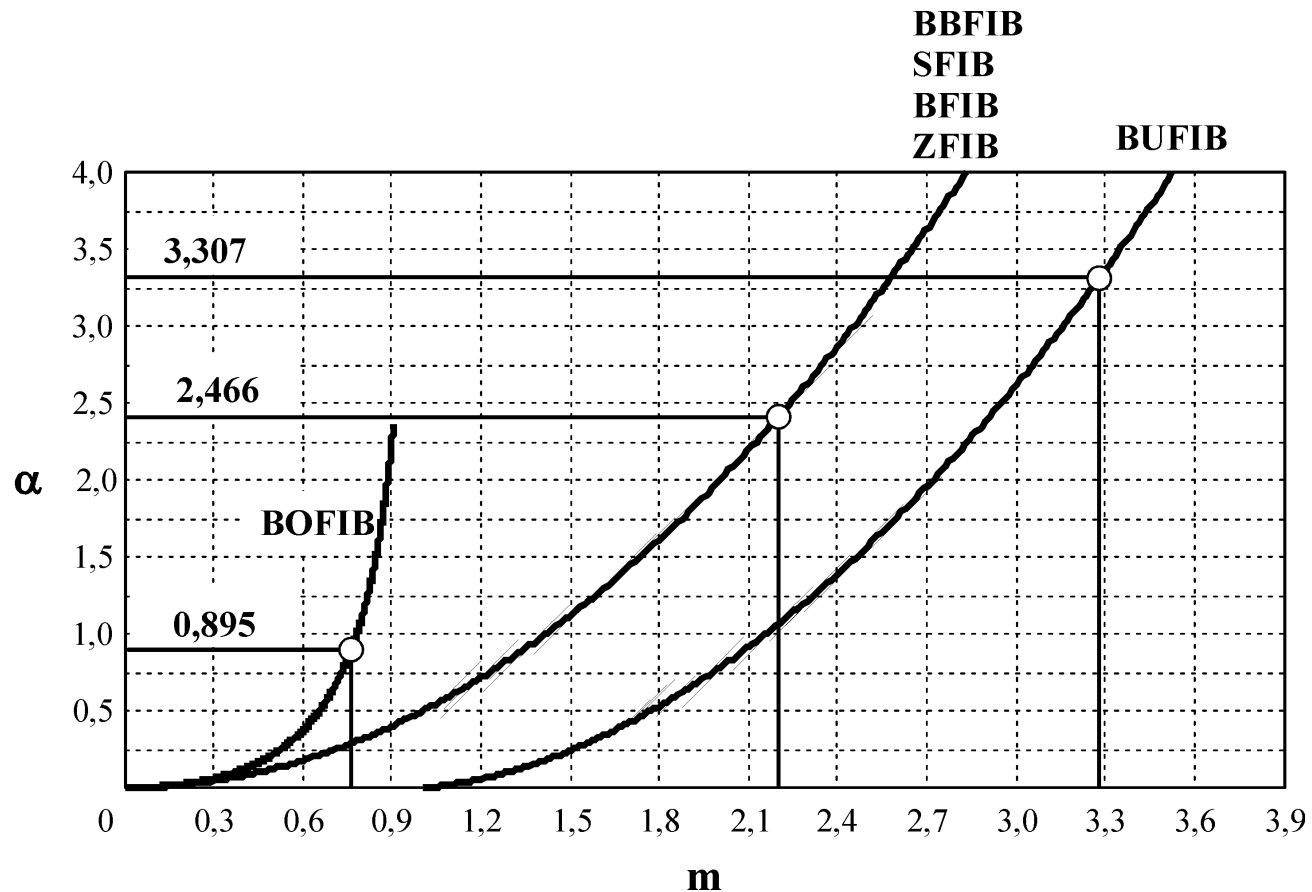
$$\alpha = \frac{m}{\pi} \cdot \left[ -2 - \frac{\pi}{m} + \frac{2}{m \cdot \sqrt{1-m^2}} \cdot \left( \frac{\pi}{2} + \text{asen}(m) \right) \right]$$

# Dois Conversores Operam em DCM

<b>BOFIB</b>	$\alpha = \frac{m}{\pi} \cdot \left[ -2 - \frac{\pi}{m} + \frac{2}{m \cdot \sqrt{1-m^2}} \cdot \left( \frac{\pi}{2} + \text{asen}(m) \right) \right]$
<b>BBFIB</b> <b>SFIB</b> <b>BFIB-SC</b> <b>BFIB-ST</b> <b>ZFIB</b>	$\alpha = \frac{m^2}{2}$
<b>BUFIB</b>	$\alpha = \frac{m}{\pi} \cdot \left[ \frac{\pi \cdot m}{2} - \sqrt{1 - \frac{1}{m^2}} - m \cdot \text{asen}\left(\frac{1}{m}\right) \right]$



# Dois Conversores Operam em DCM

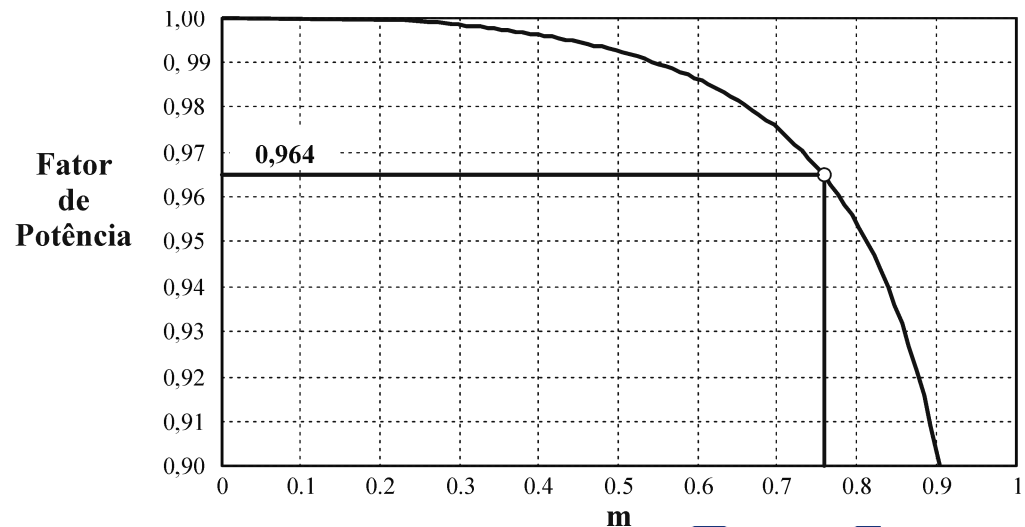
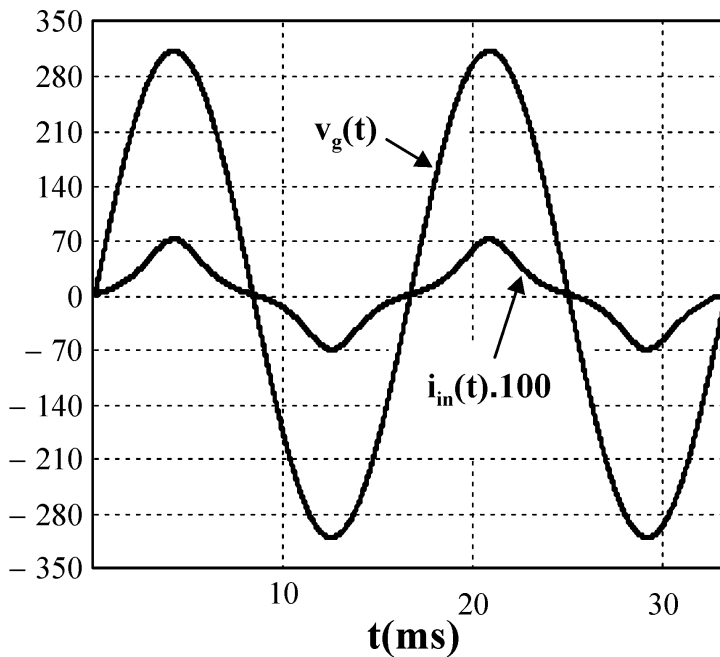


# Dois Conversores Operam em DCM

## Equacionamento Boost - Flyback

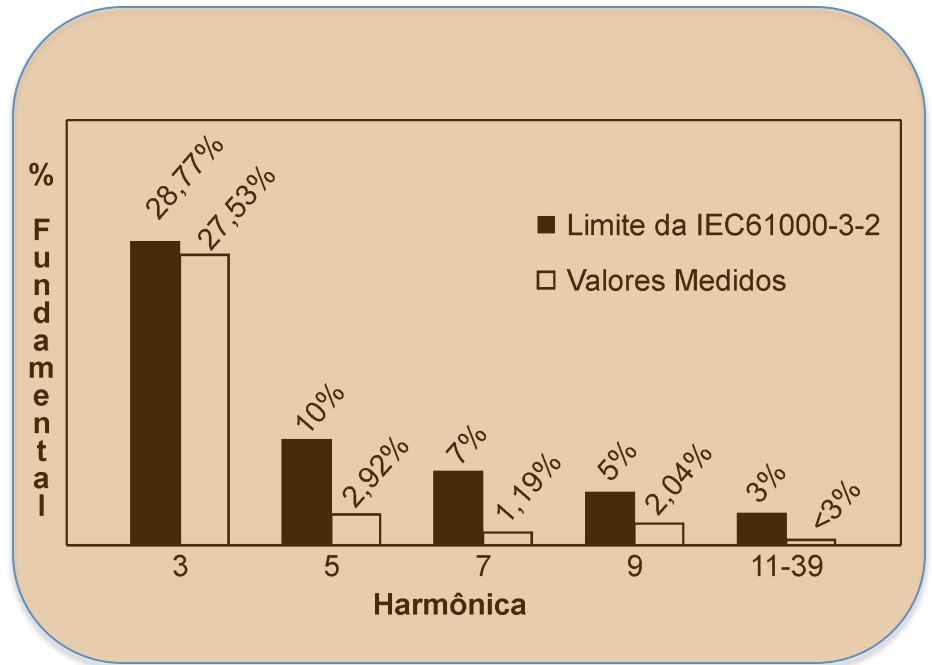
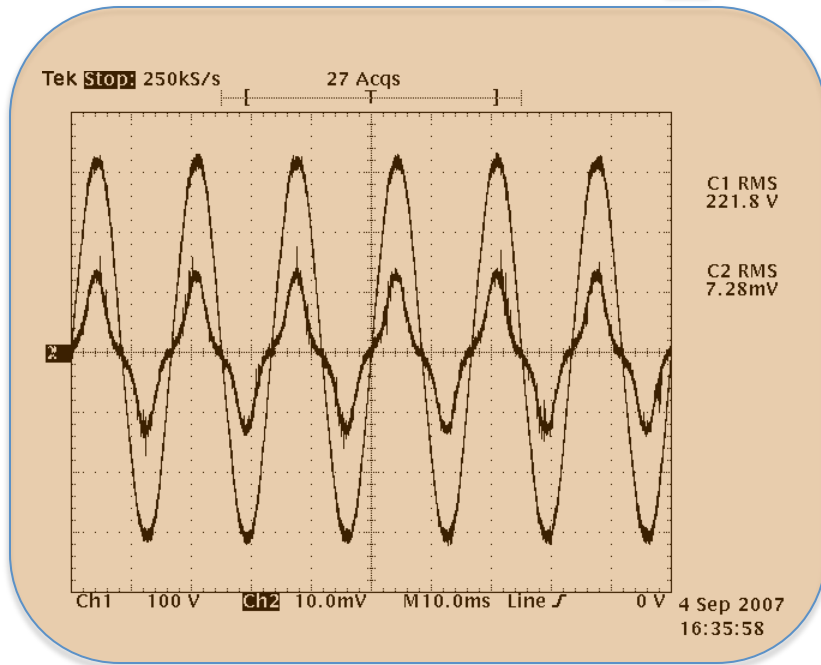
$$v_g(t) = V_g \cdot \text{sen}(\omega t)$$

$$i_{in}(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{D^2 \cdot V_g}{L_{Bo} \cdot f_s} \cdot \frac{\text{sen}(\omega t)}{1 - m \cdot |\text{sen}(\omega t)|}$$



# Dois Conversores Operam em DCM

## Equacionamento Boost - Flyback

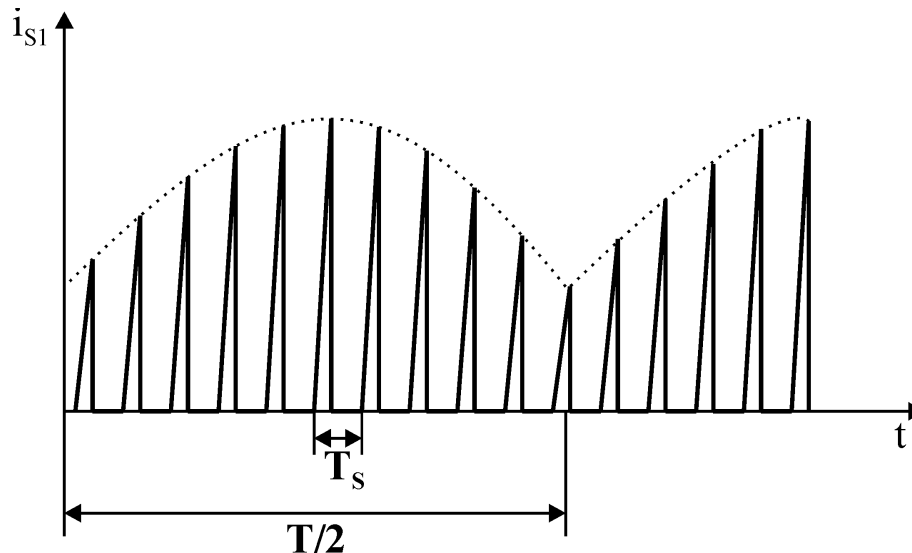


# Interruptor Compartilhado

## Ábacos de Projeto

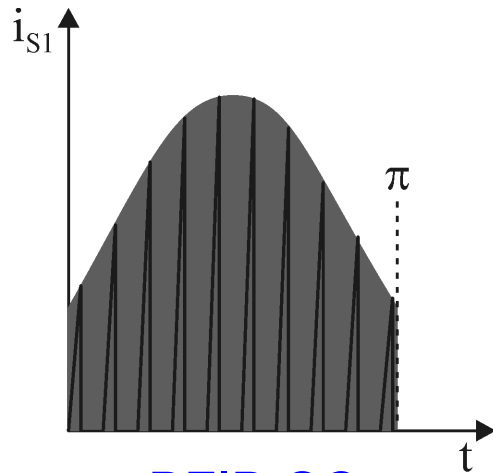
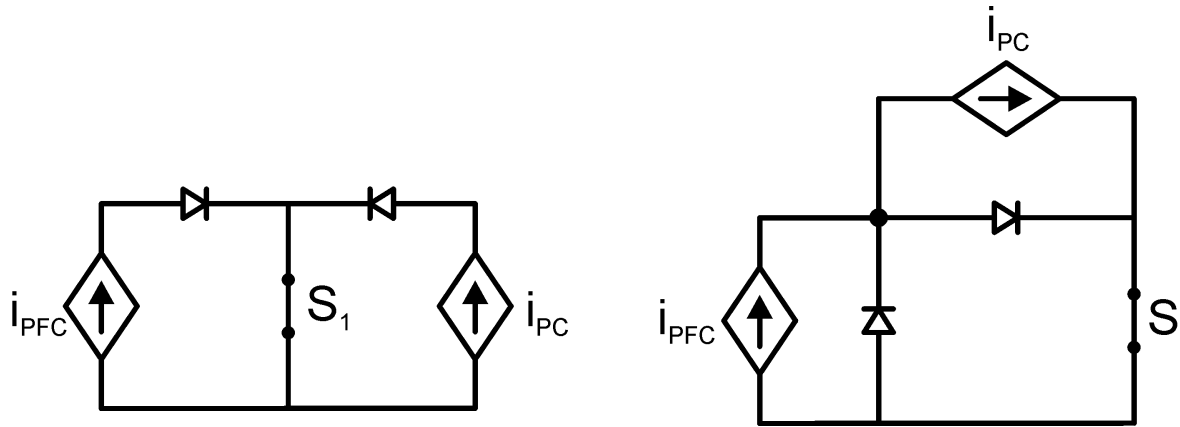
- Considerar a corrente eficaz e tensão máxima de bloqueio
- Depender do menor número de parâmetros possíveis
- Primar pela escolha do melhor projeto

- Cálculo da corrente eficaz no interruptor compartilhado não é trivial

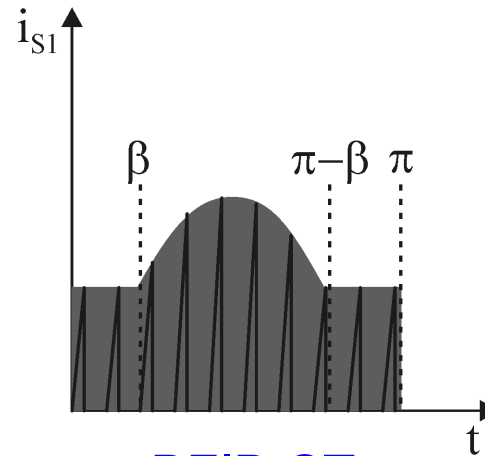


# Interruptor Compartilhado

## Ábacos de Projeto



BFIB-SC

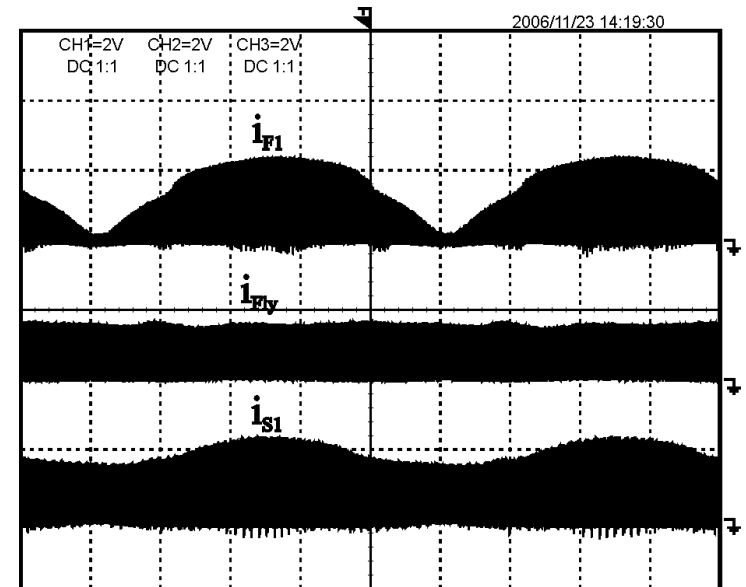
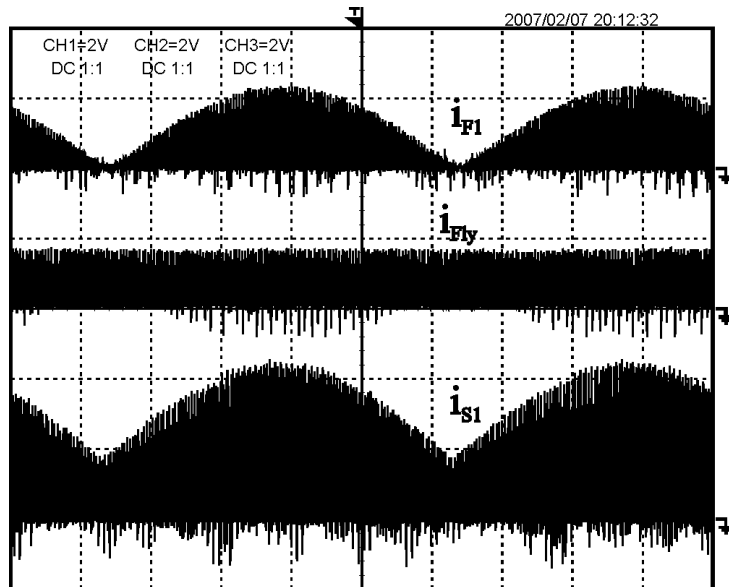


BFIB-ST

# Interruptor Compartilhado

Ábacos de Projeto – Exemplo Flyback +Flyback  
35 W HID lamp

Qual a diferença?



# Interruptor Compartilhado

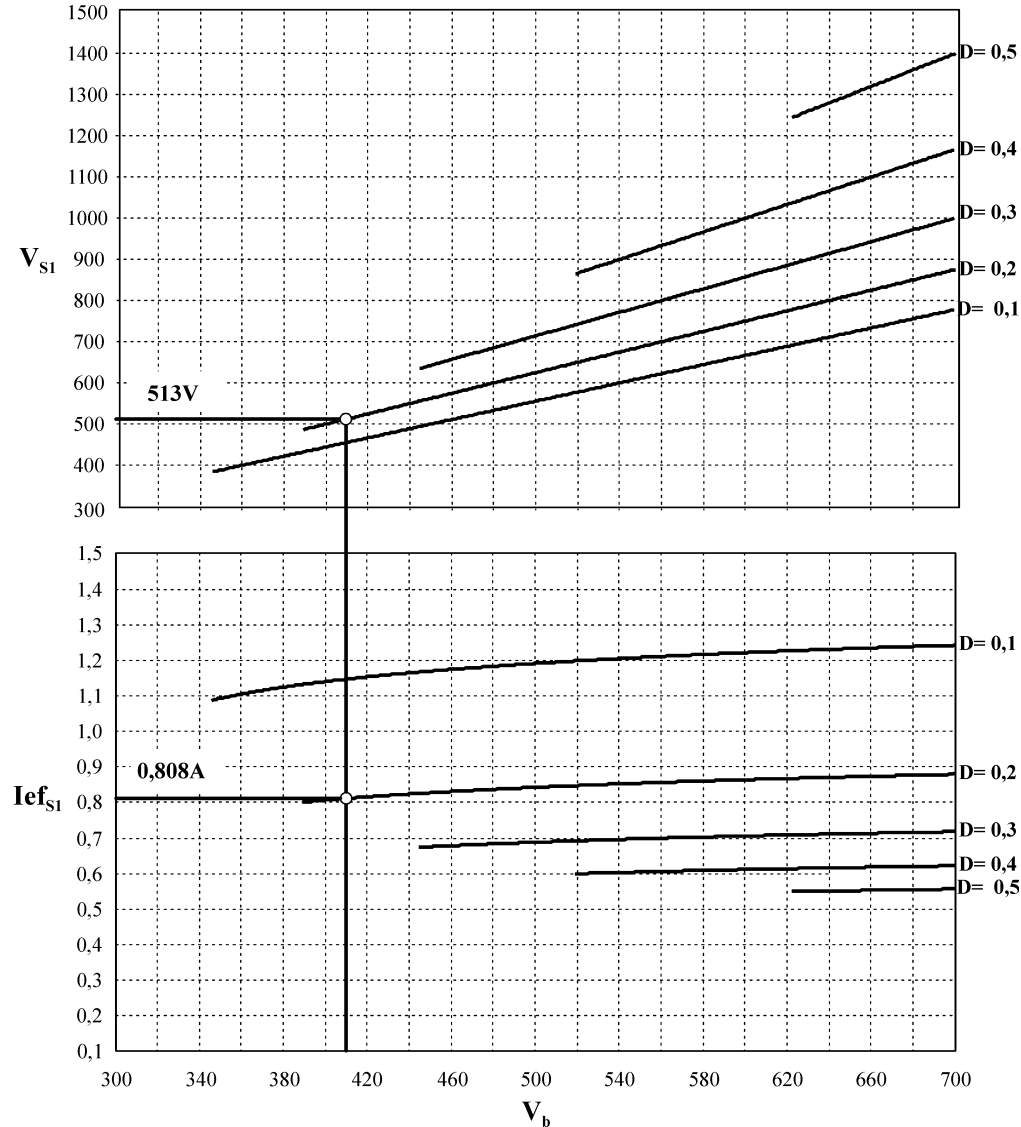
Ábacos de Projeto – Boost + Flyback

$$I_{ef_{S1}} = 2 \cdot \frac{P_{lamp}}{V_b \cdot Y(m) \cdot \eta} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{f}{f_s \cdot D} \cdot \sum_{n=1}^{NT} [Y(m) + \pi \cdot \text{sen}[2 \cdot \pi \cdot f \cdot (n \cdot T_s)]]^2}$$

$$V_{S1} = V_b + \frac{V_{lamp}}{n_2}$$

# Interruptor Compartilhado

## Ábacos de Projeto – Boost + Flyback





# Interruptor Compartilhado

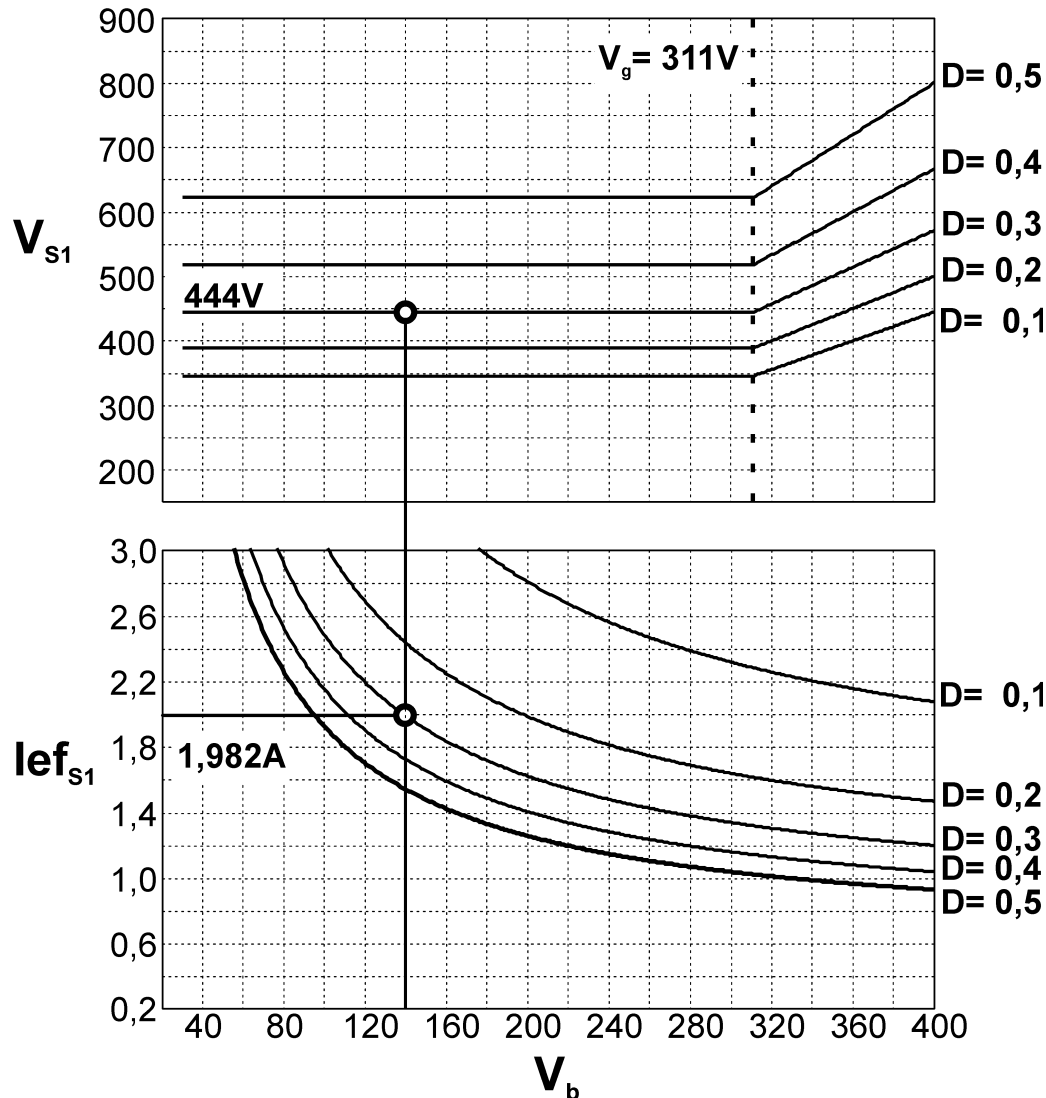
## Ábacos de Projeto

### Especificação para traçado dos ábacos

- Características da Rede Elétrica
- Características da Carga
- Frequência de Comutação
- Eficiência Estimada do Conversor

# Interruptor Compartilhado

## Ábacos de Projeto – Flyback +Flyback



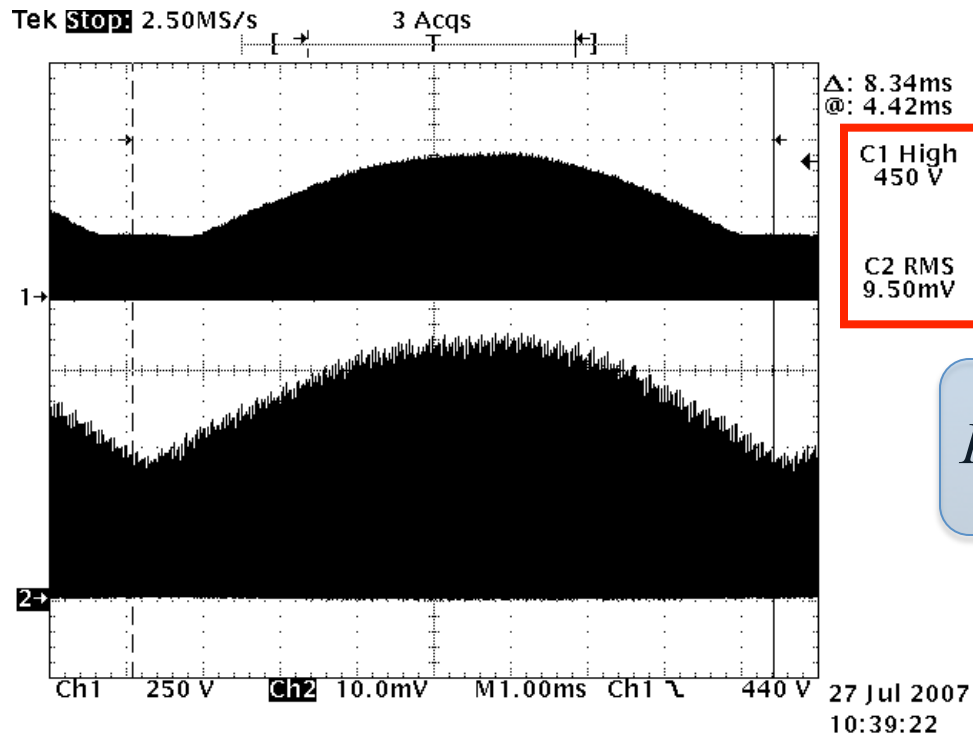
$$i_{S1} = i_{PFC} + i_{PC}$$

$$V_{S1} = \max\left(\frac{V_g}{1-D}, \frac{V_B}{1-D}\right)$$

Sobre-corrente

# Interruptor Compartilhado

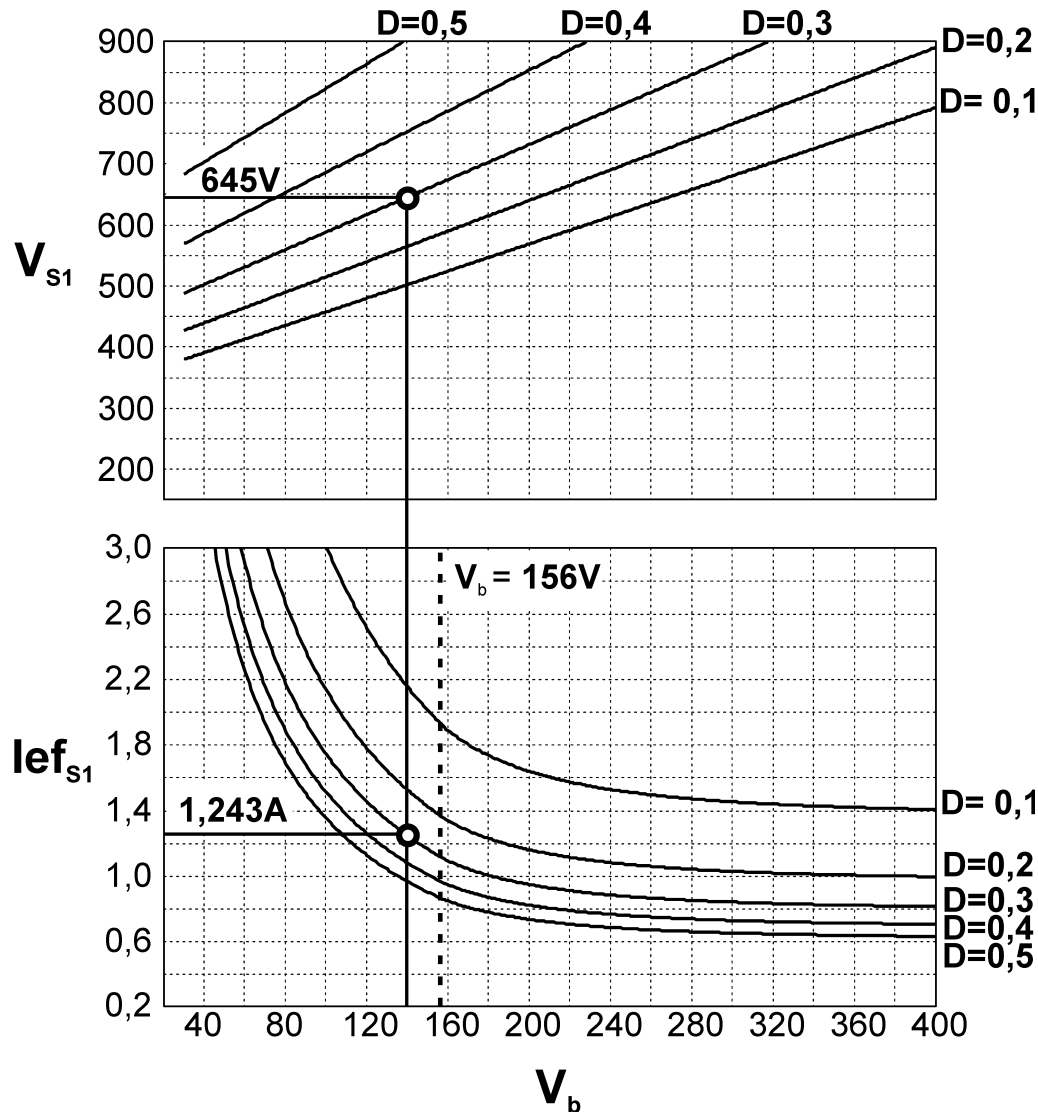
## Ábacos de Projeto – Flyback +Flyback



$$I_{ef_{BFIB-SC}} = \frac{9.50mV \cdot 2A}{10mV} = 1.9A$$

# Interruptor Compartilhado

## Ábacos de Projeto – Flyback +Flyback



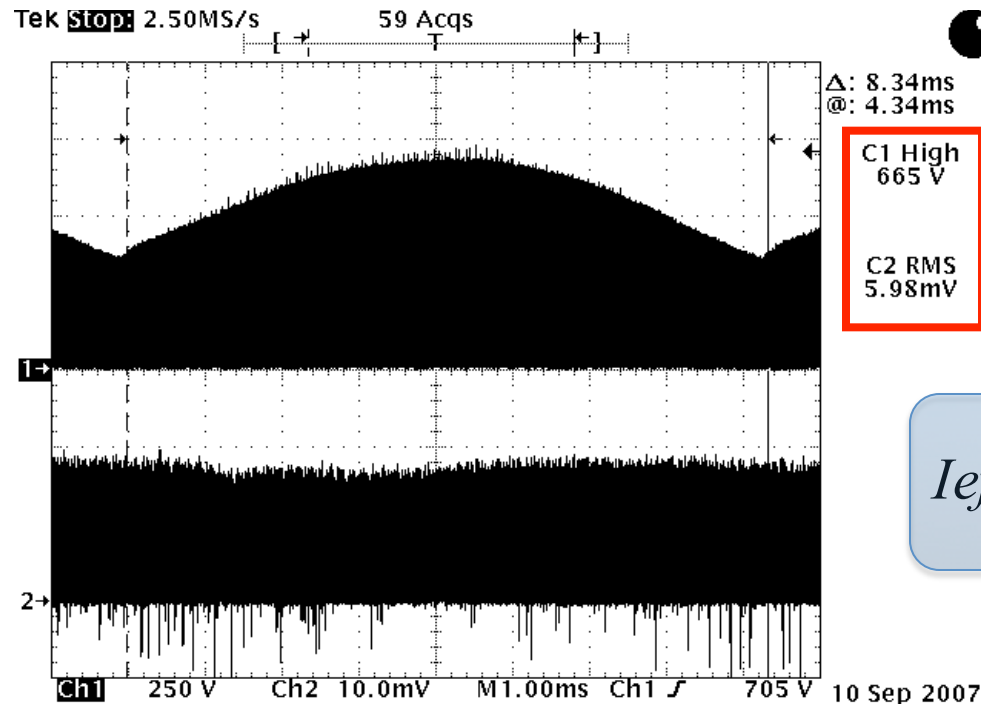
$$i_{S1} = i_{PFC} \text{ or } i_{S1} = i_{PC}$$

$$V_{S1} = \frac{V_g + V_B}{1 - D}$$

Sobre-tensão

# Interruptor Compartilhado

## Ábacos de Projeto – Flyback +Flyback

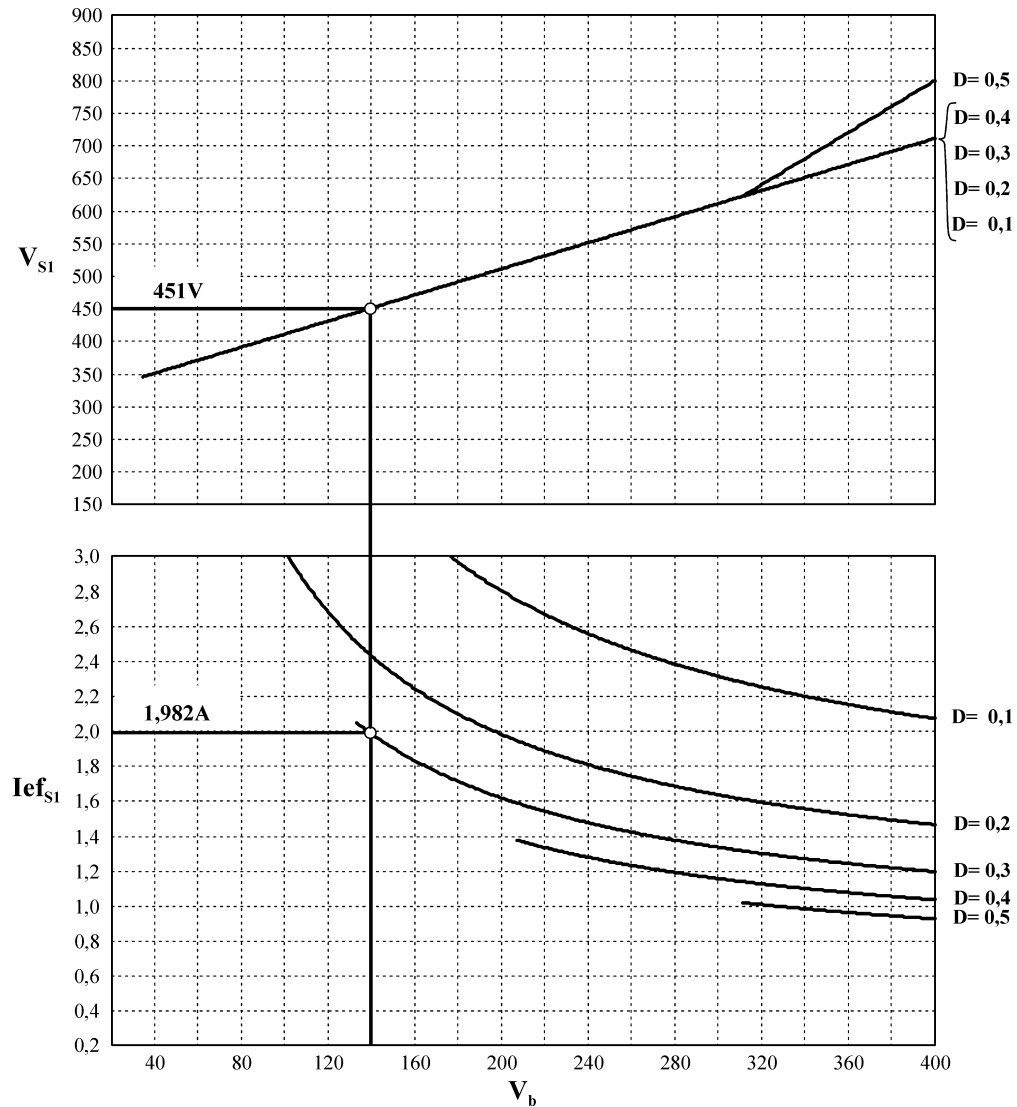


10 Sep 2007  
14:15:18

$$I_{ef_{BFIB-ST}} = \frac{5.98mV \cdot 2A}{10mV} = 1.196A$$

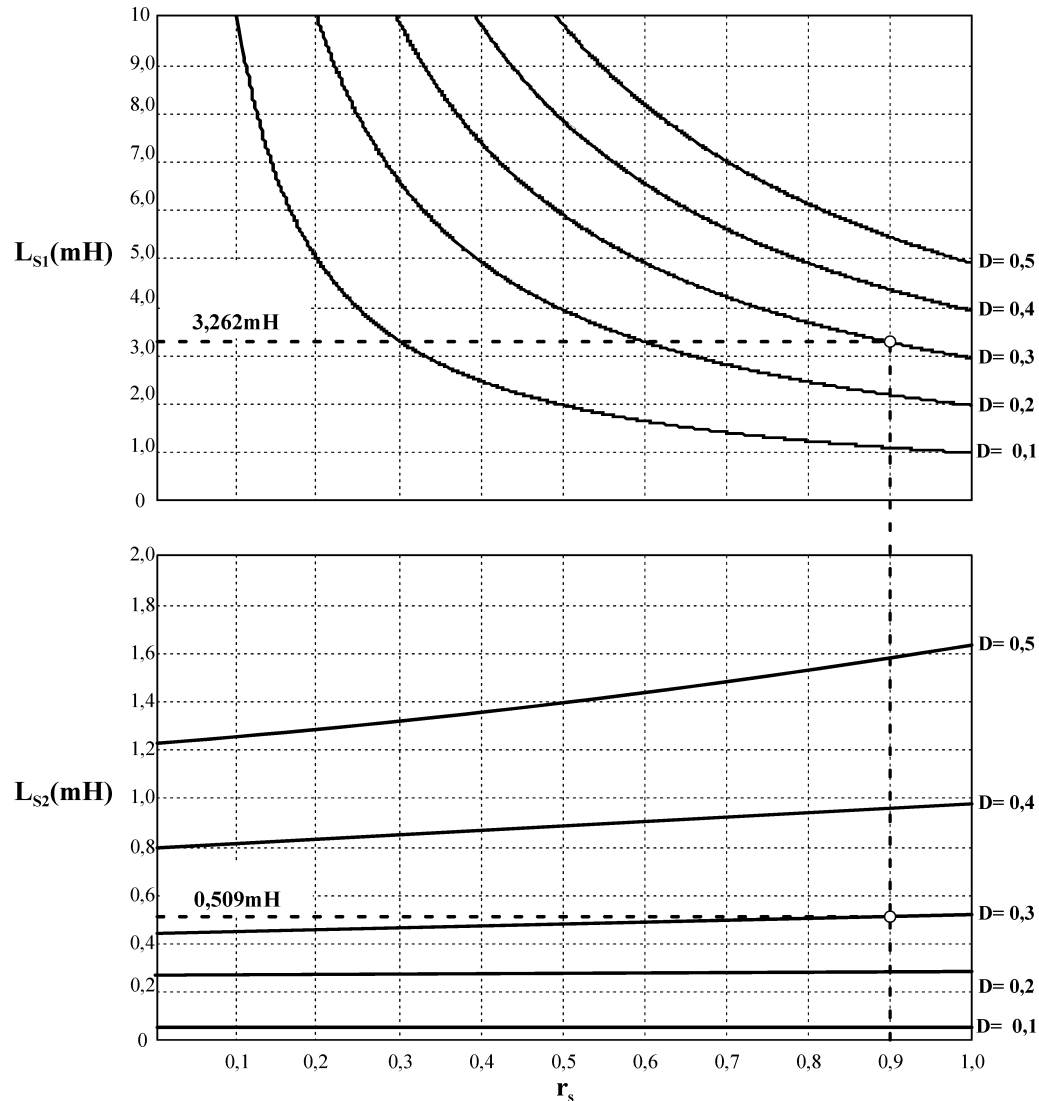
# Interruptor Compartilhado

## Ábacos de Projeto – Buck-Boost + Flyback



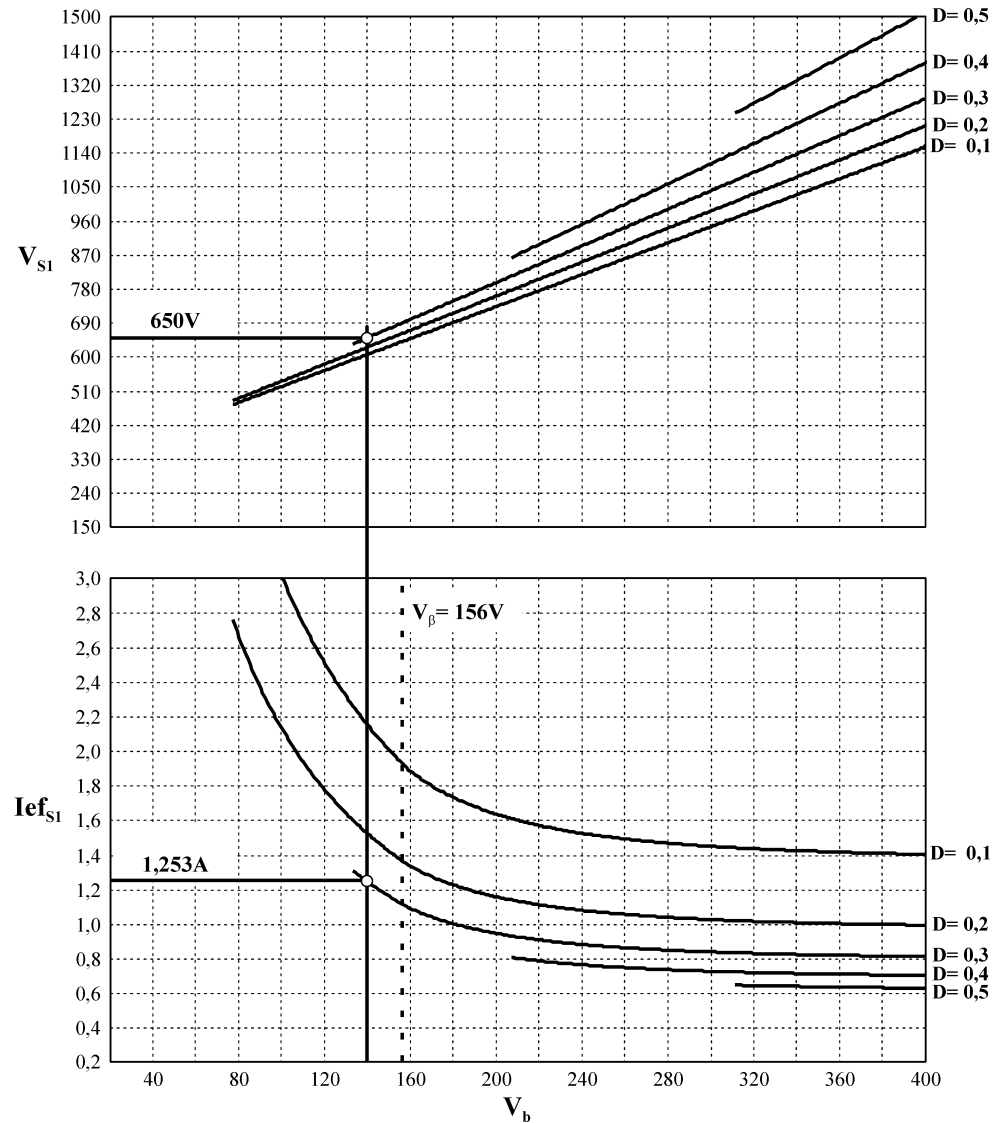
# Interruptor Compartilhado

## Ábacos de Projeto – Sepic +Flyback



# Interruptor Compartilhado

## Ábacos de Projeto – Zeta +Flyback





# Dois Conversores em DCM

Estudo Comparativo – 70 W

<b>Topologia</b>	<b>Corrente Eficaz Teórica</b>	<b>Corrente Eficaz Medida</b>	<b>Tensão Dreno-Source Teórica</b>	<b>Tensão Dreno-Source Medida</b>
<b>BOFIB</b>	0,808A	0,810A	513V	510V
<b>BBFIB</b>	1,982A	1,912A	451V	465V
<b>SFIB</b>	1,982A	1,912A	451V	460V
<b>BFIB-SC</b>	1,982A	1,900A	444V	450V
<b>BFIB-ST</b>	1,243A	1,196A	645V	665V
<b>ZFIB</b>	1,243A	1,224A	650V	655V
<b>BUFIB</b>	1,813A	1,792A	450V	450V

# Dois Conversores em DCM

## Estudo Comparativo – 70 W

<b>Topologia</b>	<b>Potência de Entrada</b>	<b>Fator de Potência</b>	<b>Potência de Saída</b>	<b>Rendimento</b>
<b>BOFIB</b>	80,70 W	0,958	70,50 W	87,36 %
<b>BBFIB</b>	82,47 W	0,993	69,70 W	84,52 %
<b>SFIB</b>	88,08 W	0,985	72,02 W	81,75 %
<b>BFIB-SC</b>	83,29 W	0,994	70,40 W	84,53 %
<b>BFIB-ST</b>	74,21 W	0,991	68,00 W	91,63 %
<b>ZFIB</b>	82,59 W	0,992	70,90 W	85,84 %
<b>BUFIB</b>	80,46 W	0,978	70,40 W	87,50 %

Interruptor Compartilhado  $S_1$ : COOLMOS SPW17N80C2

---

# Dois Conversores em DCM

## Simulação PSIM

---

# PFC em DCM e PC em CCM

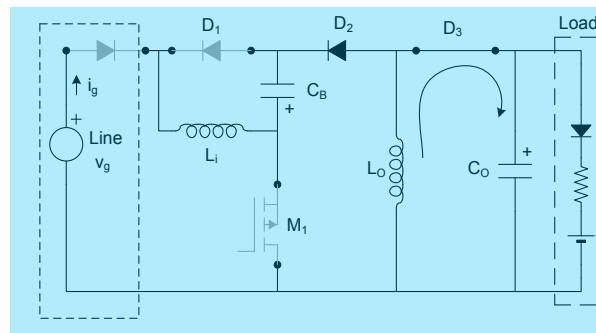
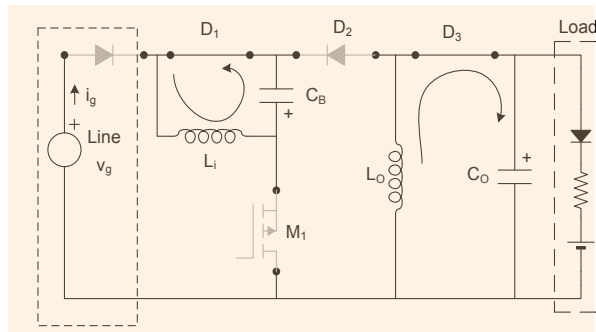
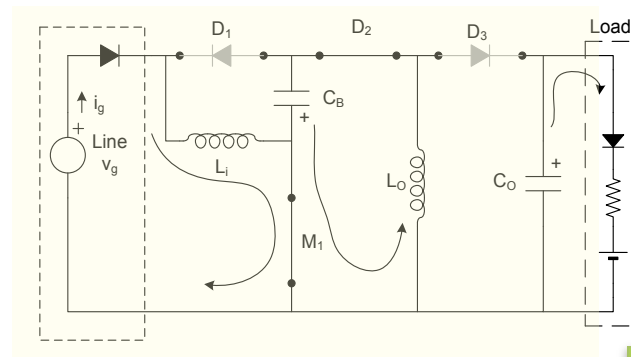
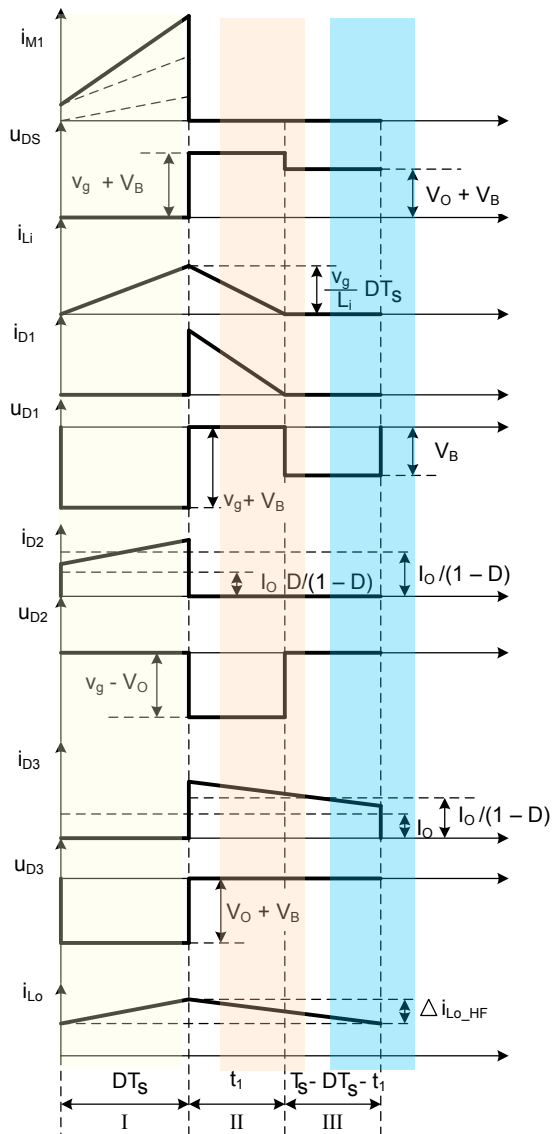
IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 59, NO. 4, APRIL 2012

1689

## Analysis and Design of the Integrated Double Buck–Boost Converter as a High-Power-Factor Driver for Power-LED Lamps

J. Marcos Alonso, *Senior Member, IEEE*, Juan Viña, David Gacio Vaquero, *Student Member, IEEE*, Gilberto Martínez, and René Osorio

# PFC em DCM e PC em CCM



Dois Conversores  
Buck-Boost  
Integrados

Alonso J. M.,  
2010

# PFC em DCM e PC em CCM

## Equacionamento Buck-Boost + Buck Boost

$$V_B = \frac{1-D}{D} V_O = \frac{(1-D)V_g}{2\sqrt{K}}$$

$$K = \frac{f_s L_i}{R}$$

$$V_B = \frac{1-D}{D} V_O = \frac{(1-D)V_g}{2\sqrt{K}}$$

$$V_O = \frac{DV_g}{2\sqrt{K}}$$

As can be seen from (5) and (7), when operating the input stage in DCM and the output stage in CCM, the bus and output voltages are reversely dependent on the duty cycle. For example, if the duty cycle increases, the output voltage increases, and the bus voltage decreases in the same amount.

---

# OBRIGADO !

