



FLUXO ÓTIMO

**APLICADO A INVERSORES DE
FREQUÊNCIA PARA ECONOMIA
DE ENERGIA**

Norton Petry
Gerente de Desenvolvimento
WEG Automação



- Minimização de perdas em motores de indução operando em baixas rotações
- Função **FLUXO ÓTIMO** patenteada e implementada na nova geração de inversores CFW11

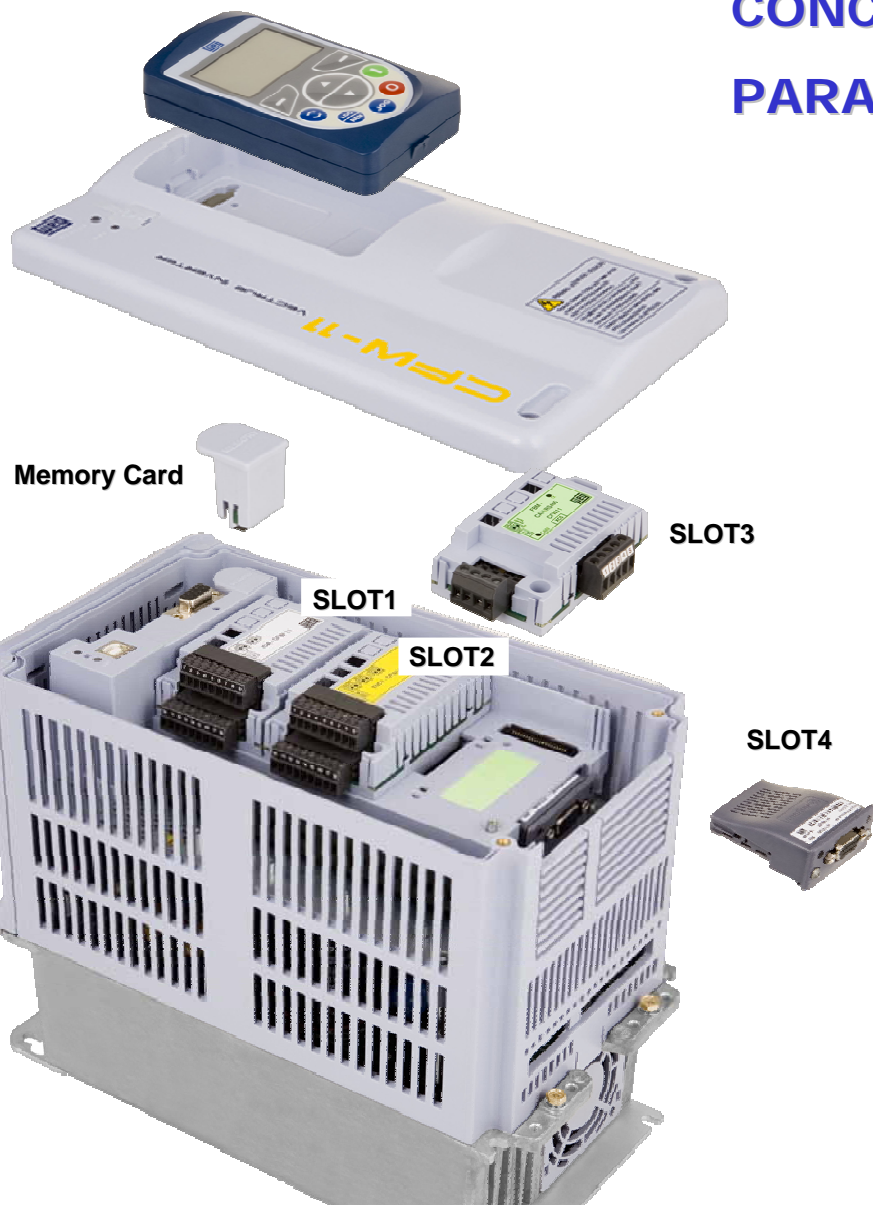


**O CFW-11 VEM COMPLETO, PRONTO PARA "PLUG-AND-PLAY"
PARA A MAIORIA DAS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS**

- ⦿ **1.1 a 45 kW**
- ⦿ **200-240 V e 380-480 V**
- ⦿ **Potências / tensões mais altas em desenvolvimento
(até 2000 kW / 690 V)**



CONCEITO AMPLO DE "PLUG-AND-PLAY" PARA POTÊNCIA E CONTROLE



- Conexões de força feitas diretamente à alimentação da linha, sem necessidade de filtros ou reatância
- Frenagem dinâmica incorporada
- Ampla faixa de operação de temperatura sem redução de corrente (-10...50°C)
- “*Start-up Orientado*” guiando o usuário através da programação necessária

**CONCEITO AMPLO DE “PLUG-AND-PLAY” PARA
POTÊNCIA E CONTROLE**

- ☉ **Acessórios de controle (como expansão de E/S, interfaces de comunicação e encoder) são facilmente instalados e automaticamente configurados**
- ☉ **Conexão USB com o PC, executando software “SUPERDRIVE” (em ambiente WINDOWS), para programação, monitoração e diagnóstico**
- ☉ **IHM possui display gráfico, backlight e teclas soft-keys para fácil operação (tipo telefone celular)**
- ☉ **Ajuste automático para o modo de controle vetorial**

Dissipador através da
placa de montagem



Proteção IP54

☉ Superfície - IP21/IP20

☉ Flange

Montagem lado a lado (IP20) sem espaçamento: painéis mais compactos



Remova a tampa superior

IP20

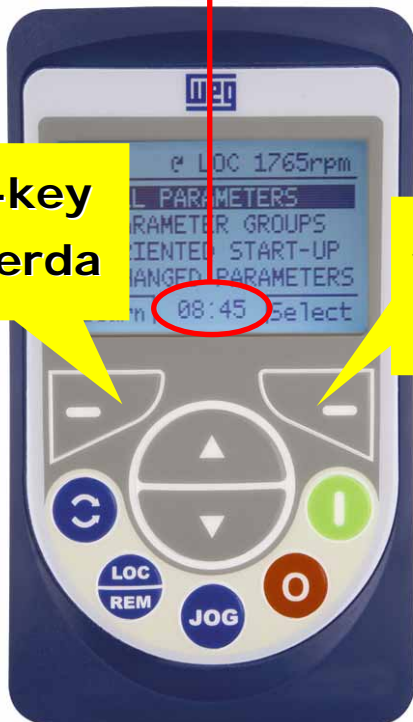
Ⓢ IP21 / Nema 1 / IP20 com kit eletroduto



- Display gráfico
- Soft keys para fácil operação
- Start-up orientado
- Backlight
- Relógio em Tempo Real (RTC)
- Seleção de idiomas
- Função Copy
- Plug-in
- IHM Remota (IP56)

Soft-key
esquerda

Soft-key
direita



Software SUPERDRIVE (WINDOWS)

- ❶ Programação, comando e monitoração
- ❷ Lê parametros do drive
- ❸ Escreve parametros no drive
- ❹ Conexão USB
- ❺ Função Trace / Scope
- ❻ Documentação da aplicação

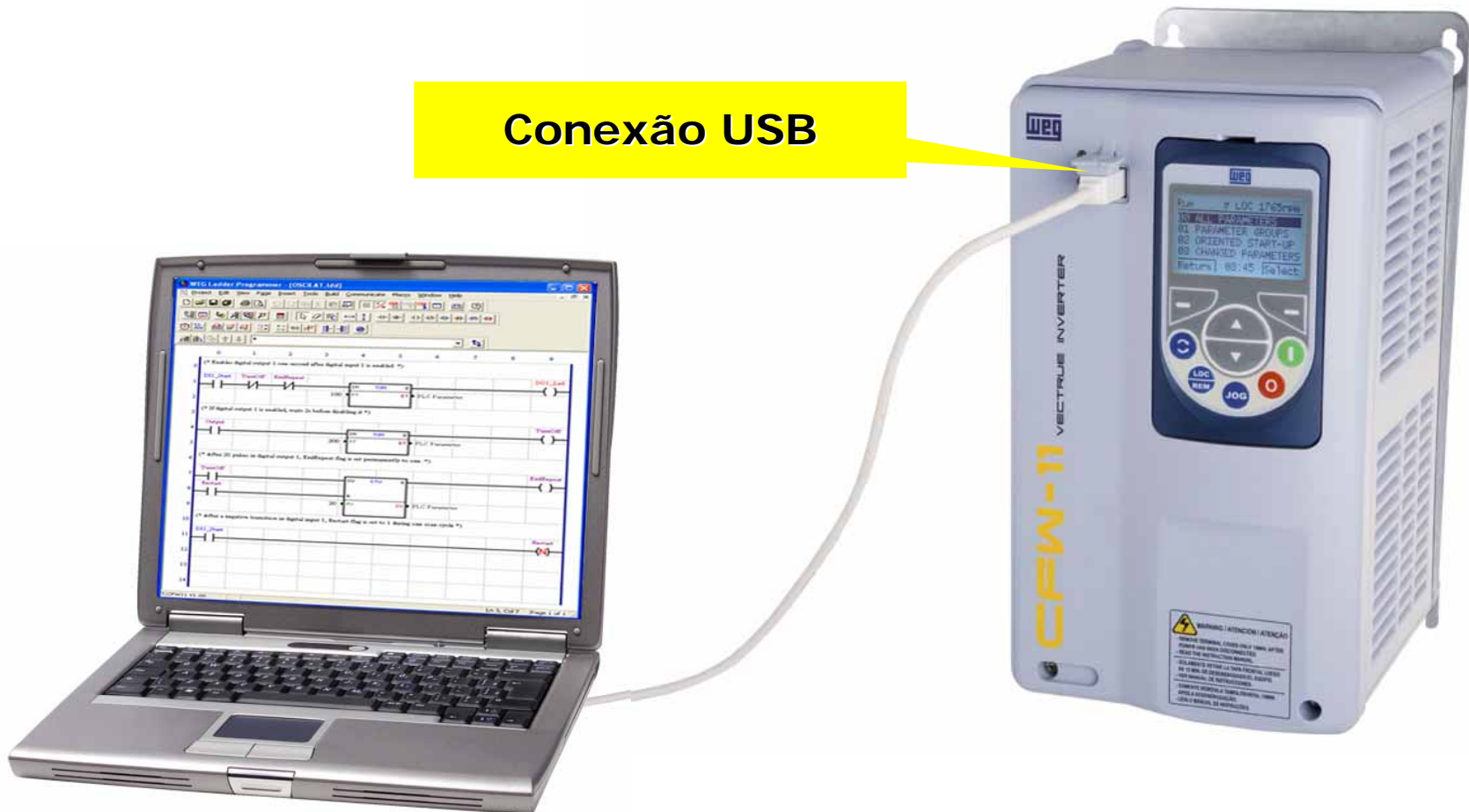
Conexão USB



SOFT-CLP – IEC 61131-3 - SOFTWARE DE PROGRAMAÇÃO

- ☛ O usuário pode criar seu próprio software de aplicação e fazer o download para o CFW-11 padrão via porta USB

Conexão USB



- ☺ Operação normal ou severa adaptando-se a qualquer tipo de carga:

Normal Duty

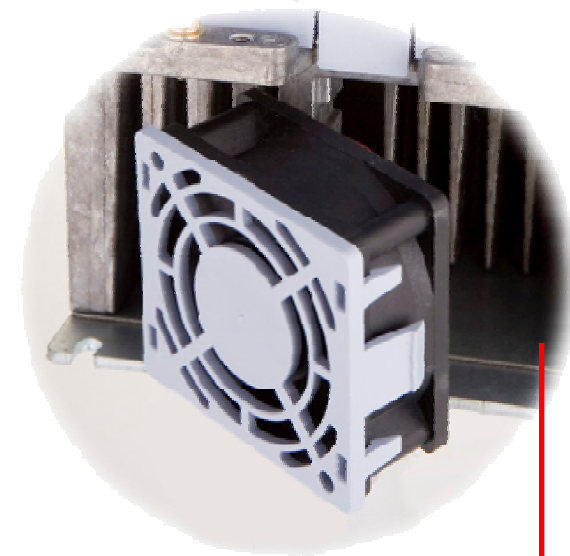
$1.1 \times I_{\text{nominal}} @ 60s @ 50^{\circ}\text{C}$

$1.5 \times I_{\text{nominal}} @ 3s @ 50^{\circ}\text{C}$

Heavy Duty

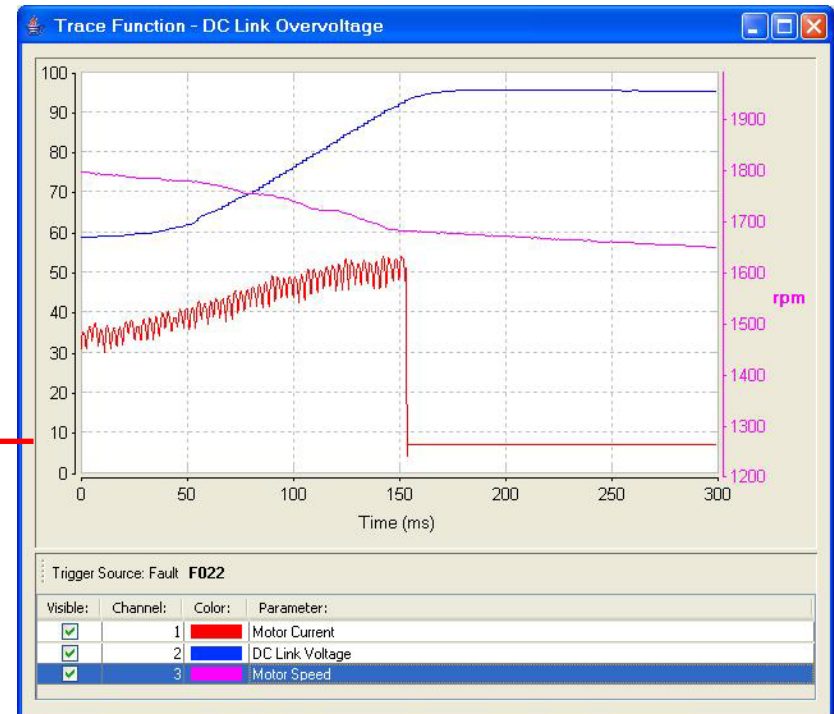
$1.5 \times I_{\text{nominal}} @ 60s @ 50^{\circ}\text{C}$

$2.0 \times I_{\text{nominal}} @ 3s @ 50^{\circ}\text{C}$



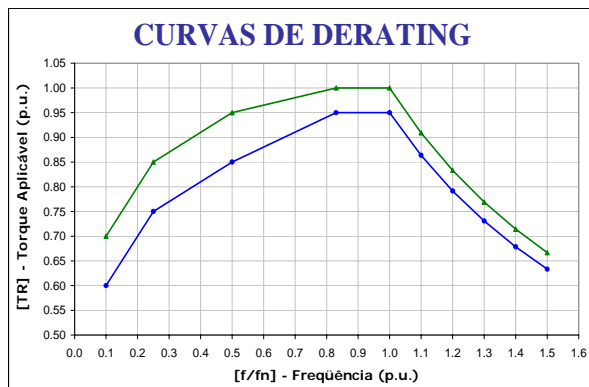
- ☺ Controle automático do ventilador do dissipador, com sensor de velocidade (proteção adicional) e facilmente destacável para limpeza e reposição
- ☺ Possibilidade de conexão em rede IT

- Alarmes permitem que o usuário entre em ação antes da máquina parar
- Os últimos 10 erros podem ser vistos com a data/hora individualmente
- O conteúdo de variáveis importantes no instante que o último erro aconteceu (como velocidade, corrente, tensão, etc...) podem ser visualizados
- Alarmes e erros são precisamente definidos para facilitar a identificação das falhas
- Função TRACE utilizando um PC



OBJETIVOS

- ❶ Minimizar as perdas totais do motor de indução trifásico
- ❷ Determinar uma curva de fluxo que minimize as perdas totais do motor em função da frequência.
- ❸ Tornar o motor apto a fornecer torque constante nas frequências baixas de operação, evitando sobredimensionamento e/ou uso de ventilação independente



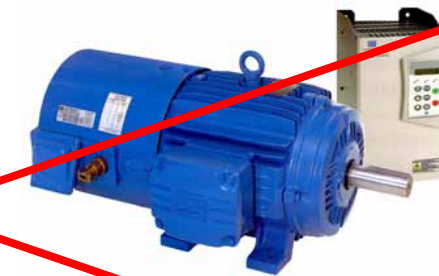
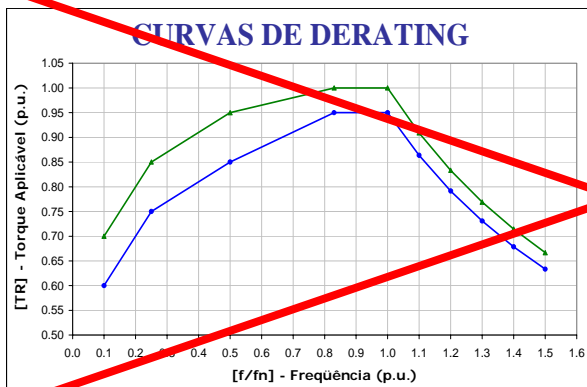
MOTOR COM VENTILAÇÃO
INDEPENDENTE



MOTOR AUTO-VENTILADO

OBJETIVOS

- ❶ Minimizar as perdas totais do motor de indução trifásico
- ❷ Determinar uma curva de fluxo que minimize as perdas totais do motor em função da frequência.
- ❸ Tornar o motor apto a fornecer torque constante nas baixas de freqüências de operação, evitando sobredimensionamento e/ou uso de ventilação independente



MOTOR COM VENTILAÇÃO
INDEPENDENTE



MOTOR AUTO-VENTILADO

VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DO MOTOR DE INDUÇÃO

Velocidade:

$$n = \frac{120 \cdot f_1 \cdot (1 - s)}{p}$$

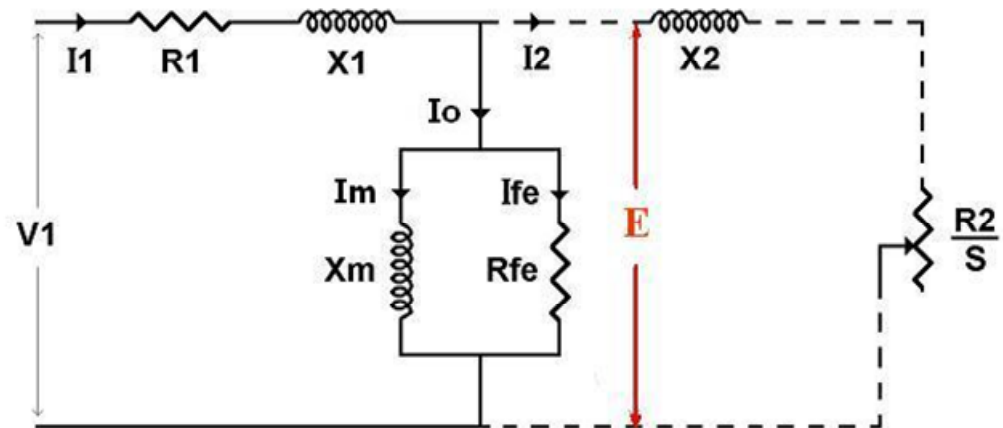
Torque:

$$T = k_1 \cdot \phi_m \cdot I_2$$

Fluxo:

$$\phi_m \propto \frac{E}{f} \Rightarrow$$

$$\phi_m = k_2 \cdot \frac{V_1}{f_1}$$



$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2^2}$$

VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DO MOTOR DE INDUÇÃO

Velocidade:

$$n = \frac{120 \cdot f_1 \cdot (1 - s)}{p}$$

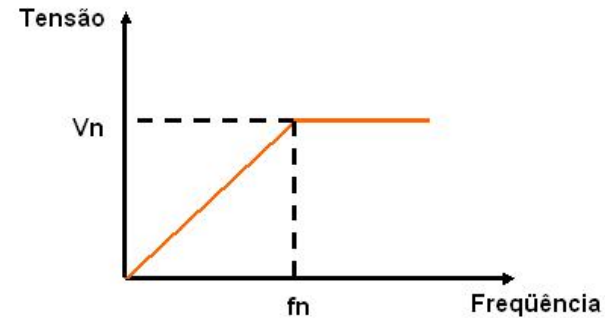
Torque:

$$T = k_1 \cdot \phi_m \cdot I_2$$

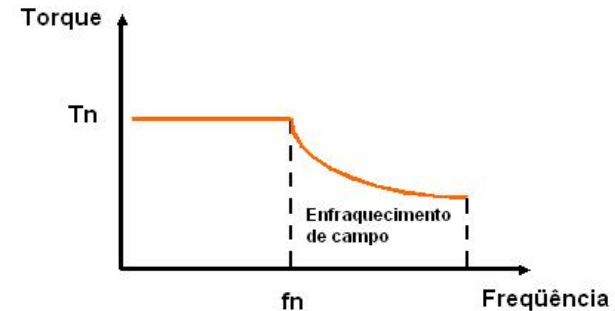
Fluxo:

$$\phi_m = k_2 \cdot \frac{V_1}{f_1}$$

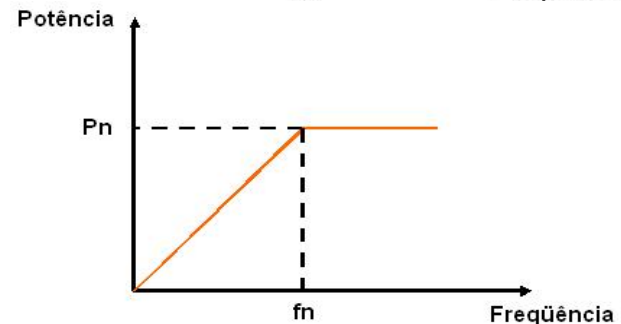
Tensão \Rightarrow



Torque \Rightarrow



Potência \Rightarrow



AS PERDAS DO MOTOR:

$$p = p_i + p_{fe} + p_m$$

p_i – Perdas que dependem da corrente.
Perdas Joule no enrolamento do estator e nas barras do rotor.



$$p_i \propto I^2$$

p_{fe} – Perdas que dependem da indução magnética, frequência e qualidade do material ferromagnético. *Perdas no ferro.*



$$p_{fe} \begin{cases} \propto B^x \propto \phi_m^x \propto \left(\frac{E}{f}\right)^x \\ \propto f^y \end{cases}$$

p_m – Perdas que dependem da rotação.
Perdas mecânicas por atrito e ventilação.



$$p_m \propto n^3 \propto f^3$$

CÁLCULO DAS PERDAS GLOBAIS DO MOTOR DE INDUÇÃO

$$k_{i0n} = \frac{I_0}{I_n}; \quad k_{i0} = \left(\frac{E}{f} \right)^x; \quad k_m \propto f^3$$

k_T = Fator de atenuação do torque

$$p = p_{in} \left[\frac{k_T^2 k_m^2}{\left(\frac{E}{f} \right)^2} + k_{i0n}^2 \cdot k_{i0}^2 \right] + p_{Hn} \left(\frac{E}{f} \right)^4 f + p_{Fn} \left(\frac{E}{f} \right)^4 f^2$$

Perdas devido à corrente total

Perdas no ferro

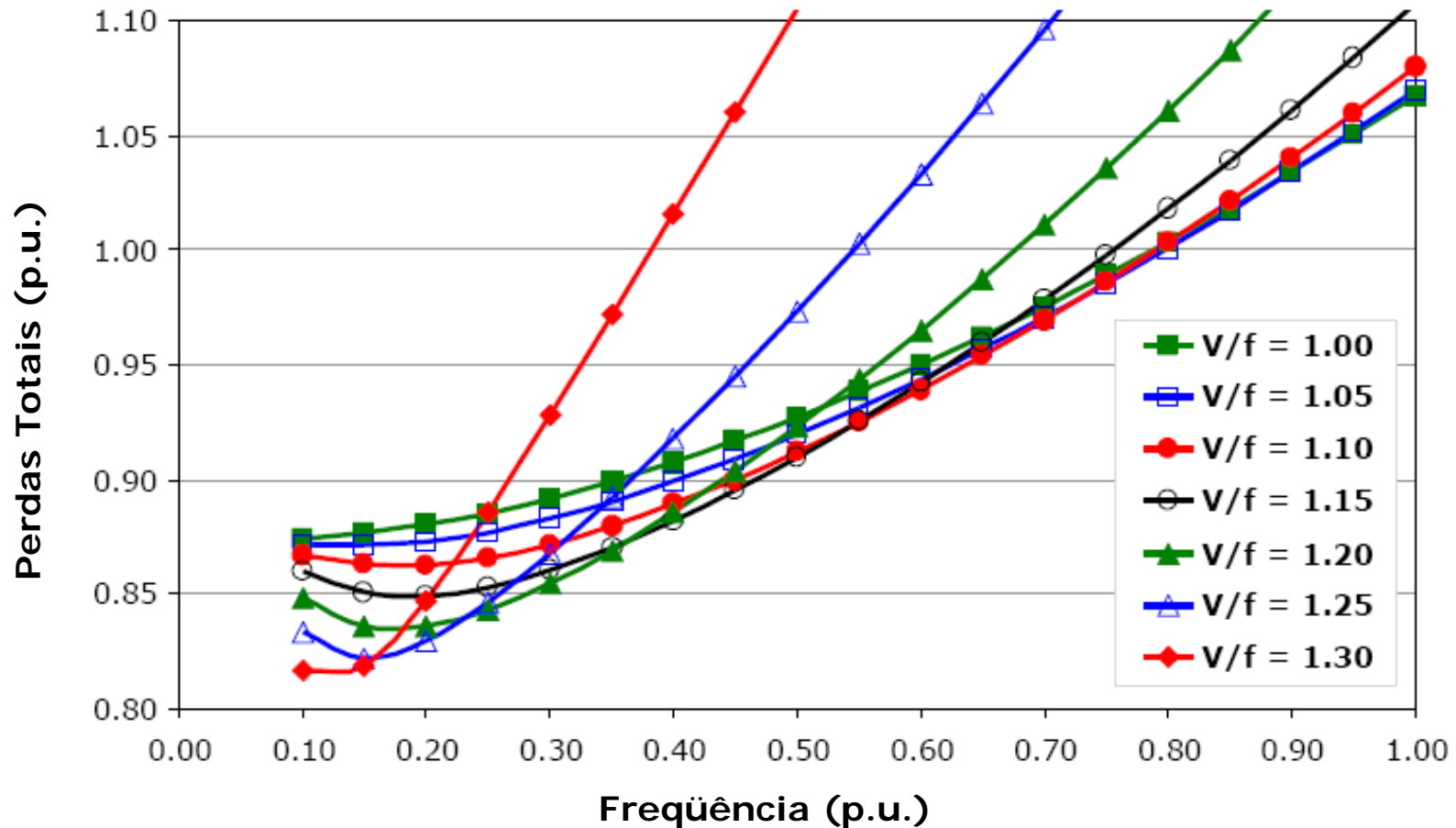
OBS.: valores por unidade.

$$p = p_{in} \left[\frac{k_T^2 k_m^2}{\left(\frac{E}{f}\right)^2} + k_{i0n}^2 \cdot k_{i0}^2 \right] + p_{Hn} \left(\frac{E}{f}\right)^4 f + p_{Fn} \left(\frac{E}{f}\right)^4 f^2$$

Valores típicos para motores 4 pólos de alto rendimento					
Potência (cv)	K_{i0n}	p_{in}	p_{Fe}	p_{Hn}	p_{Fn}
1/4 - 2	70%	75%	25%	15%	10%
3 - 40	45%	80%	20%	12%	8%
50 - 400	30%	75%	25%	15%	10%

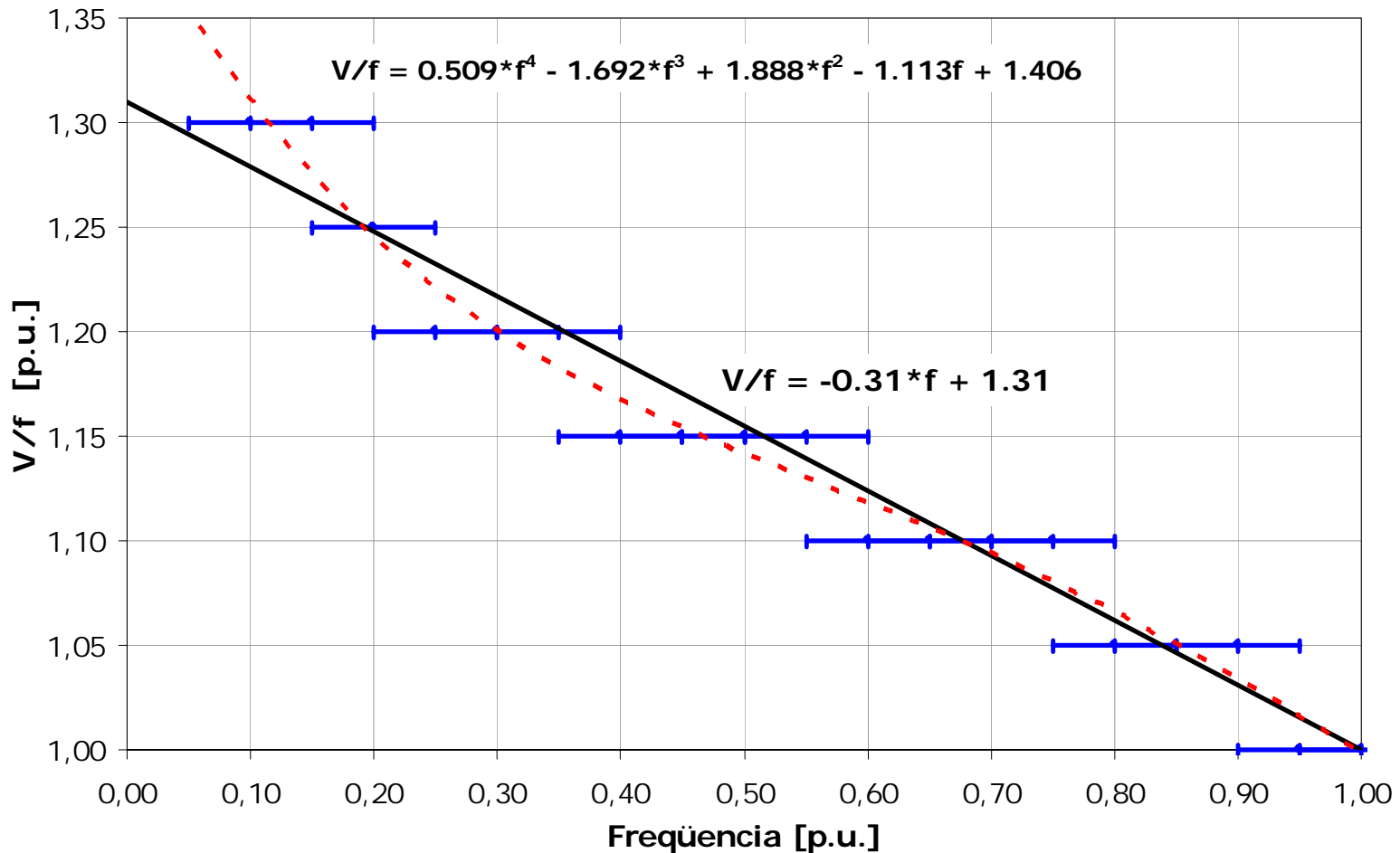
PERDAS TOTAIS X FREQUÊNCIA

Para diferentes valores de V/f



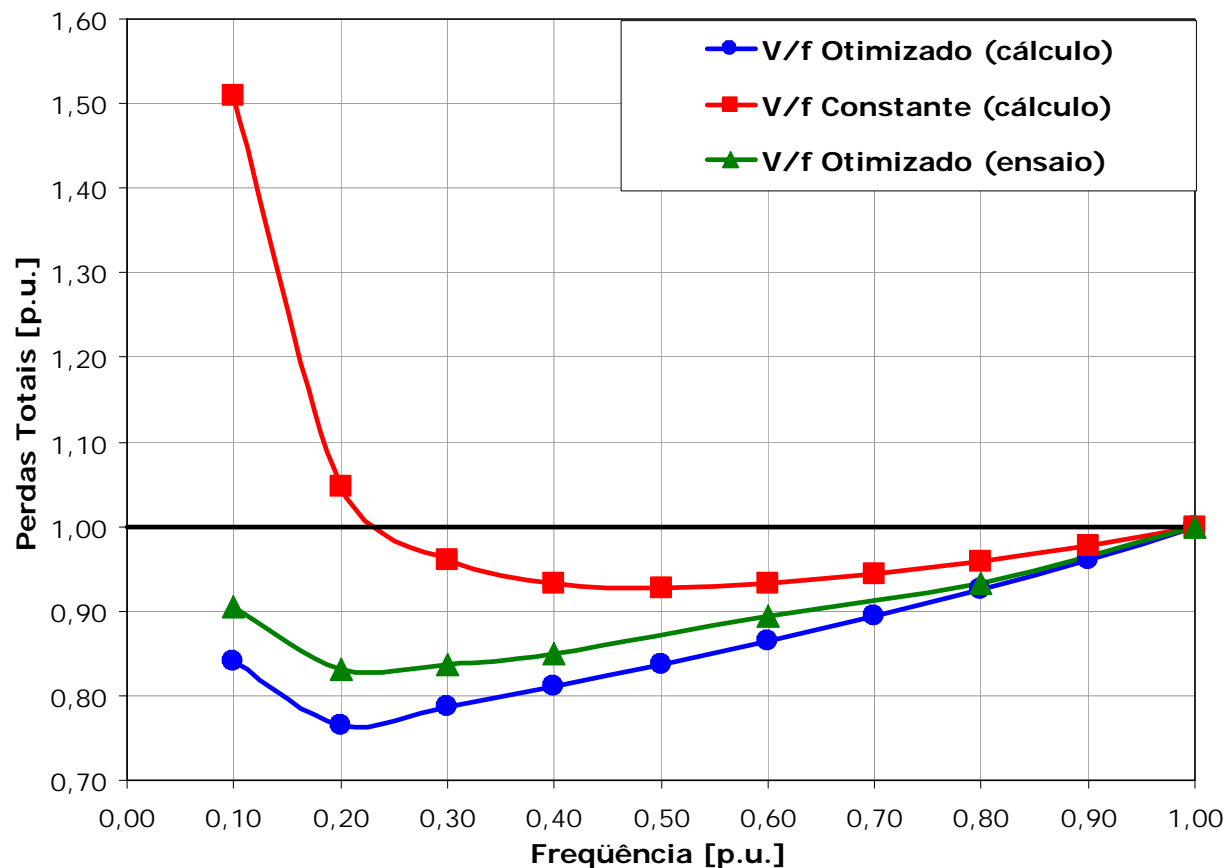
CURVA V/f X FREQUÊNCIA

Para minimização das perdas totais



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Motor 40 cv – 4 pólos



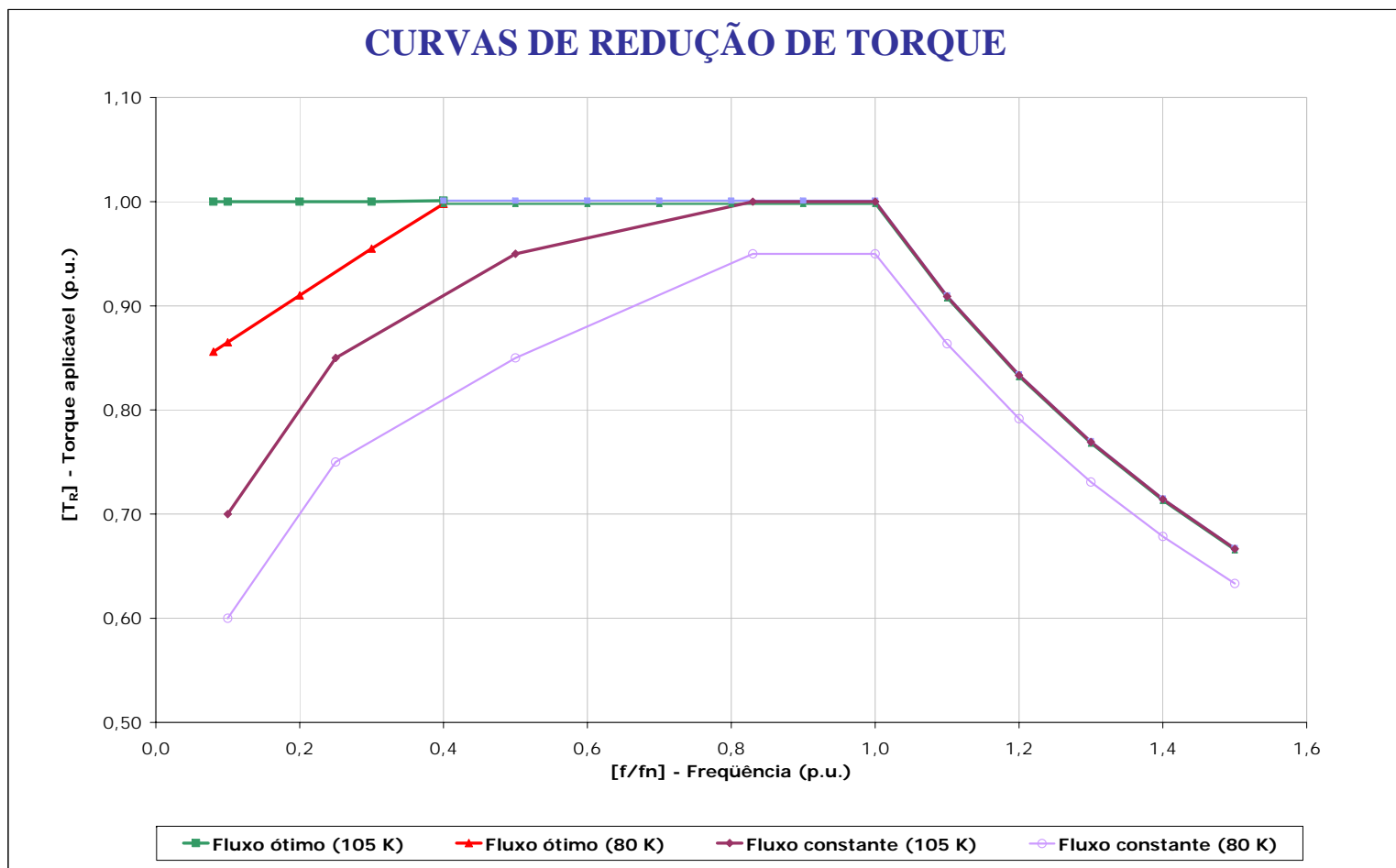
IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO DA CURVA DE FLUXO ÓTIMO

RESULTADOS DE ENSAIOS DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA S1 (K)

Motores *Alto Rendimento* - 4 pólos

Fonte	Freq. operação	Fluxo	5 cv	20 cv	50 cv	150 cv
Rede	60 Hz senoidal	constante	50.3	48.1	53.8	67.7
Conversor	60 Hz	constante	51.3	59.1	77.7	86.6
		ótimo				
	15 Hz	constante	72.8	79.8	122.3	100.3
		ótimo	72.8	62.4	79.8	82.6
	10 Hz	constante	101.0	104.7	/	125.3
		ótimo	77.8	67.7	88.1	83.2
	5 Hz	constante	/	/	/	/
		ótimo				

RESULTADO



CONCLUSÕES

- ☉ **Foram determinadas relações de fluxo magnético que, em função da frequência de operação, minimizam as perdas totais dos motores de indução alimentados por conversores estáticos de frequência**
- ☉ **Os resultados de ensaios com fluxo ótimo validaram a técnica desenvolvida para minimização das perdas do motor**
- ☉ **A curva de fluxo ótimo foi implementada no CFW11 - produto com patente requerida - possibilitando a automatização do recurso**
- ☉ **Economia de energia - sobredimensionamento do motor e ventilação independente desnecessários em aplicações com cargas de torque constante em baixas frequências**

MUITO OBRIGADO!

Norton Petry
npetry@weg.net