



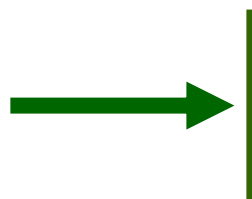
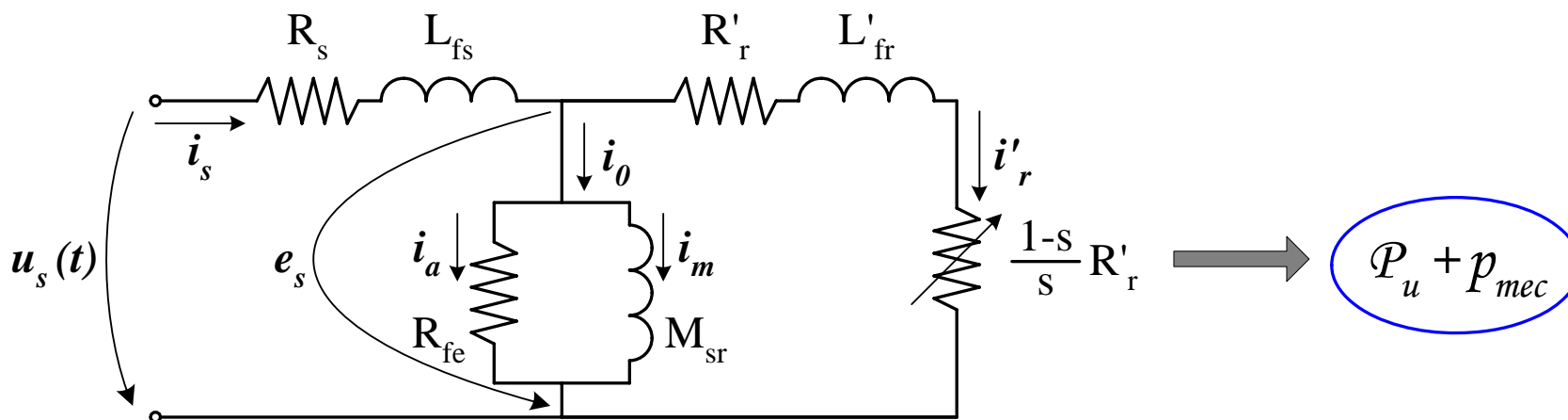
Sobre a Modelização do Motor de Indução Trifásico

Carlos Araújo Sá

Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto



O Esquema “Exacto” Tradicional

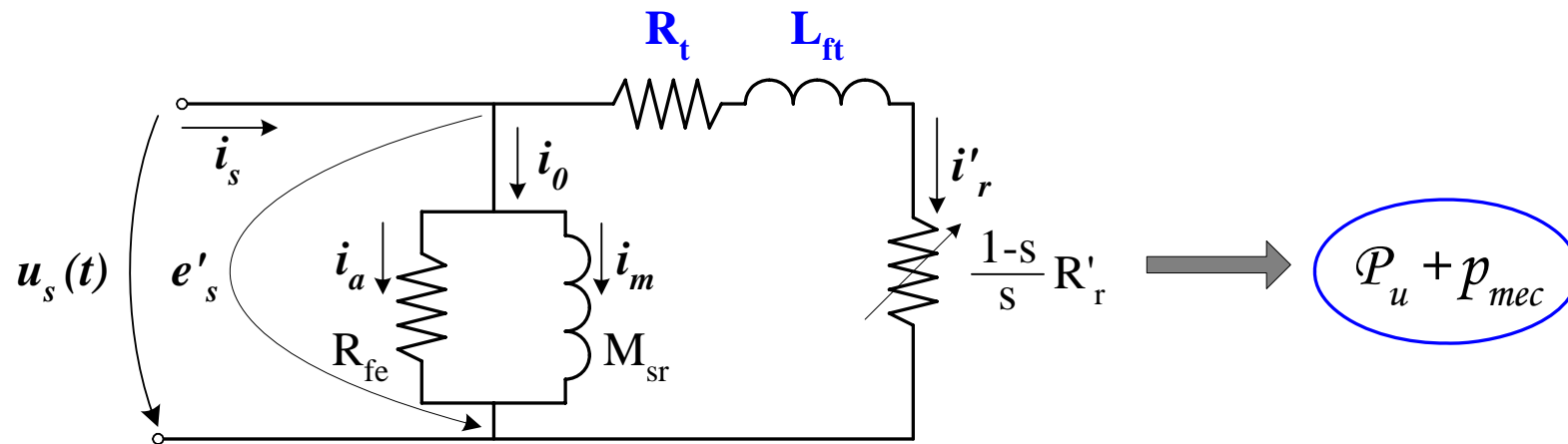


$$\mathbf{R}_s = f(\theta_s) \ ; \ \mathbf{R}'_r = f(\theta_r, \mathbf{f}_r) \ ; \ \mathbf{R}_{fe} = f(\mathbf{f}, \mathbf{B}_M)$$

$$\mathbf{L}_{fs} = f(\mathbf{i}_s, \mathbf{f}) \ ; \ \mathbf{L}'_{fr} = f(\mathbf{i}'_r, \mathbf{f}_r) \ ; \ \mathbf{M}_{sr} = f(\mathbf{i}_m)$$



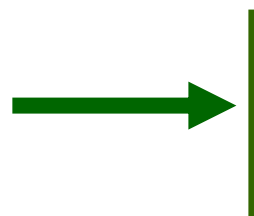
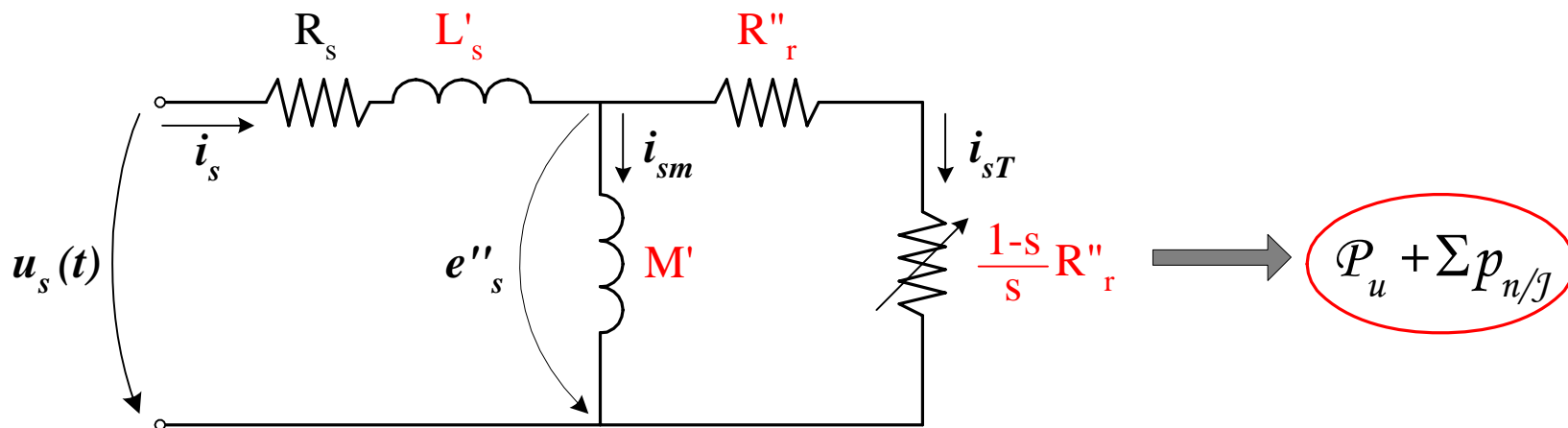
O Esquema “Simplificado” Tradicional



→ $R_t = R_s + R'_r$; $L_{ft} = L_{fs} + L'_{fr}$



O Esquema “Simplificado” Alternativo



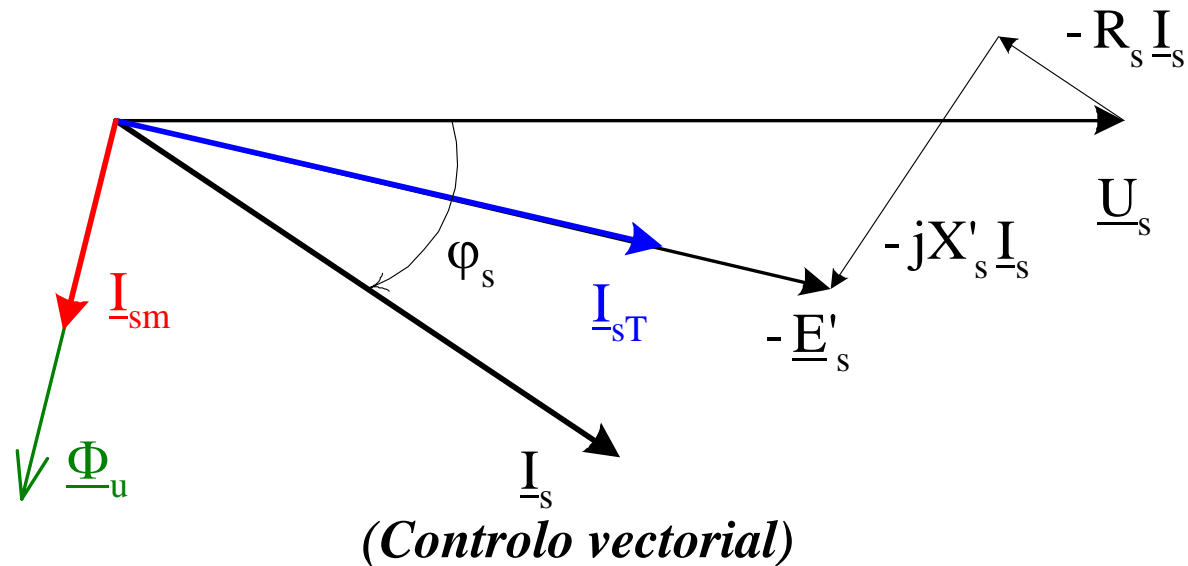
$$L'_s = L_{fs} + k_r L'_{fr} ; M' = k_r M_{sr} ; R''_r = k_r^2 R'_r$$

$$k_r = M_{sr} / L_r = 1 / v_r$$



Possíveis Causas de “Popularidade”

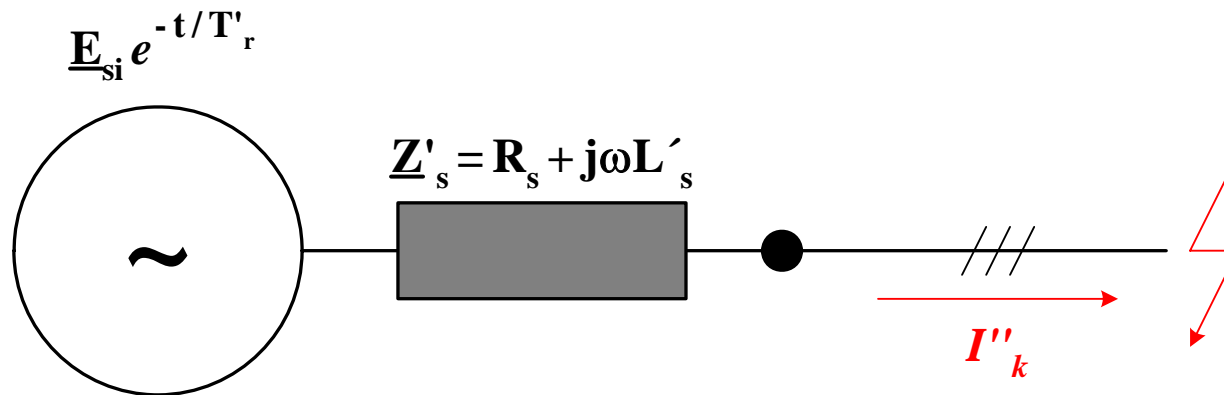
➤ Em Controlo...





Possíveis Causas de “Popularidade”

➤ Em Energia...



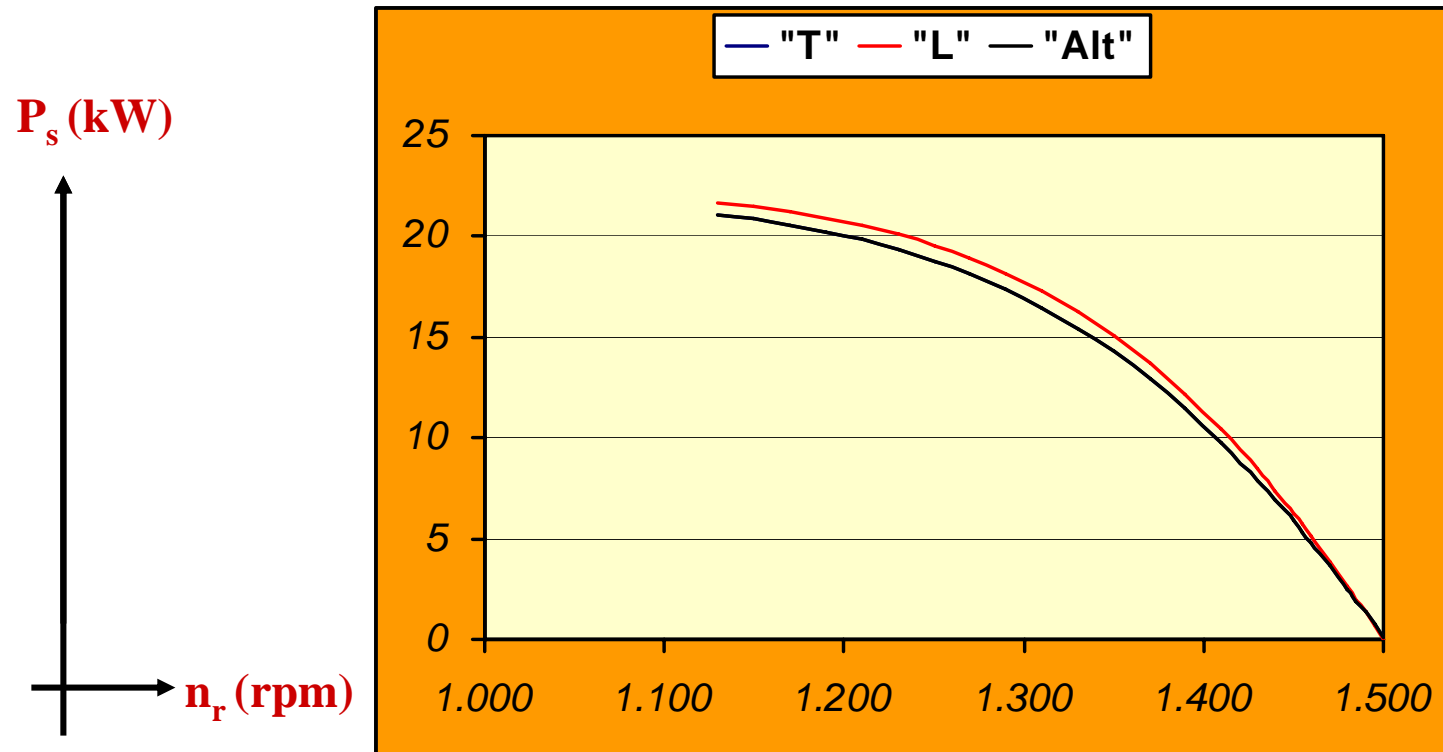
(Análise de curto-circuitos simétricos)

Motor de Teste

- **Marca / Modelo:** *Siemens / 1LA7130-4AA1*
- **Tipo:** *Gaiola em alumínio*
- **Tensão / Frequência:** *400V (Y) / 50Hz*
- **Potência / Velocidade:** *5,5kW / 1455rpm*
- **Classes:** *F (80K) - EFF 2*
- **R_s / R'_r :** *1,30 Ω / 0,790 Ω*
- **$M_{sr} / L_{fs} / L'_{fr}$:** *125mH / 6,37mH / 5,09mH*
- **k_r :** *0,961*



Comparação #1.1 - Potência Eléctrica Absorvida



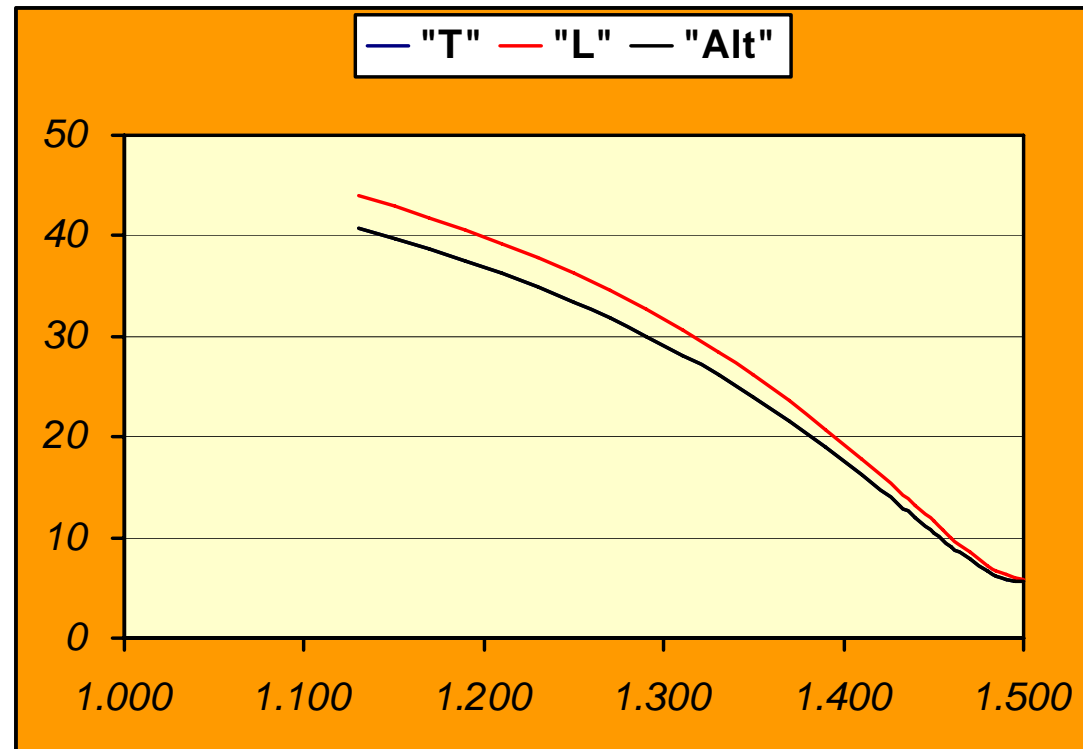


Comparação #1.2 - Corrente Absorvida

I_s (A)

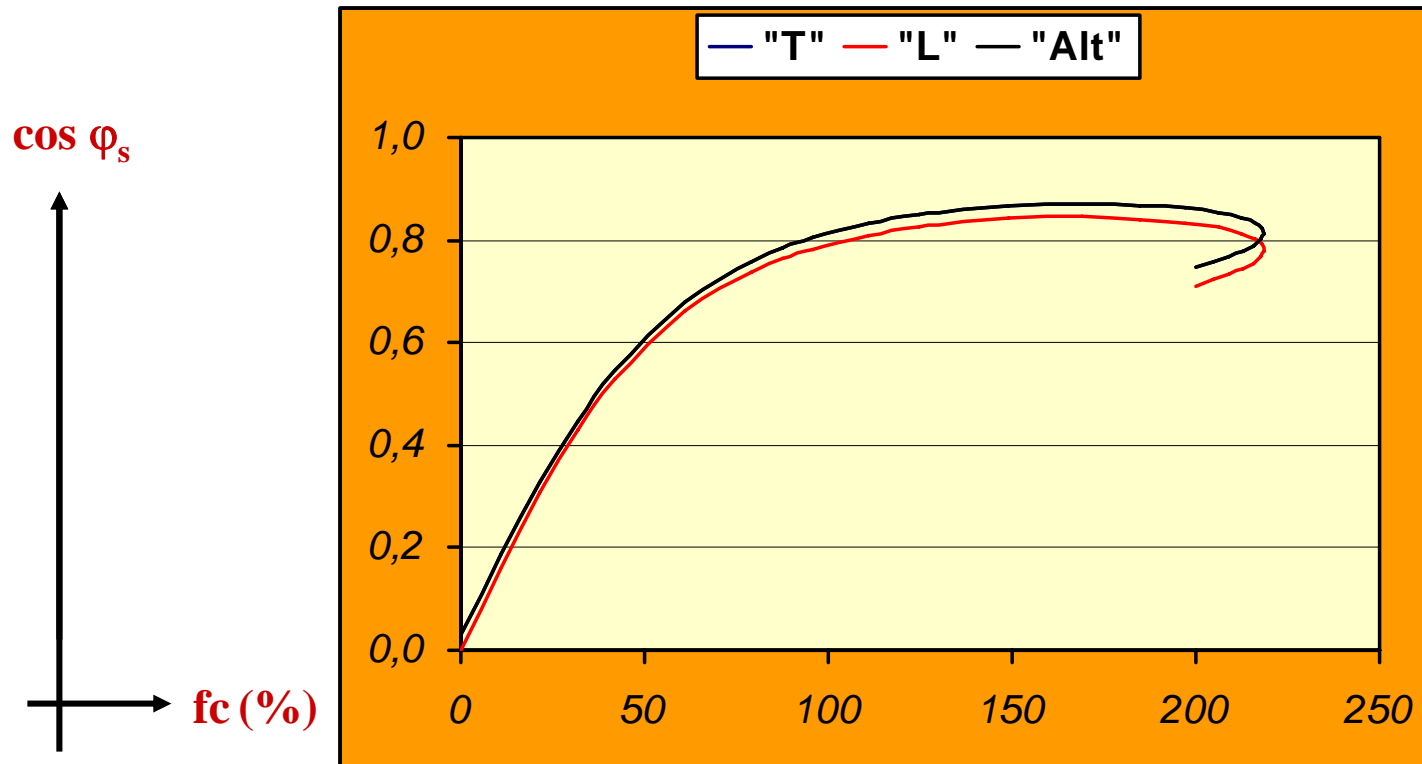


n_r (rpm)





Comparação #1.3 - Factor de Potência



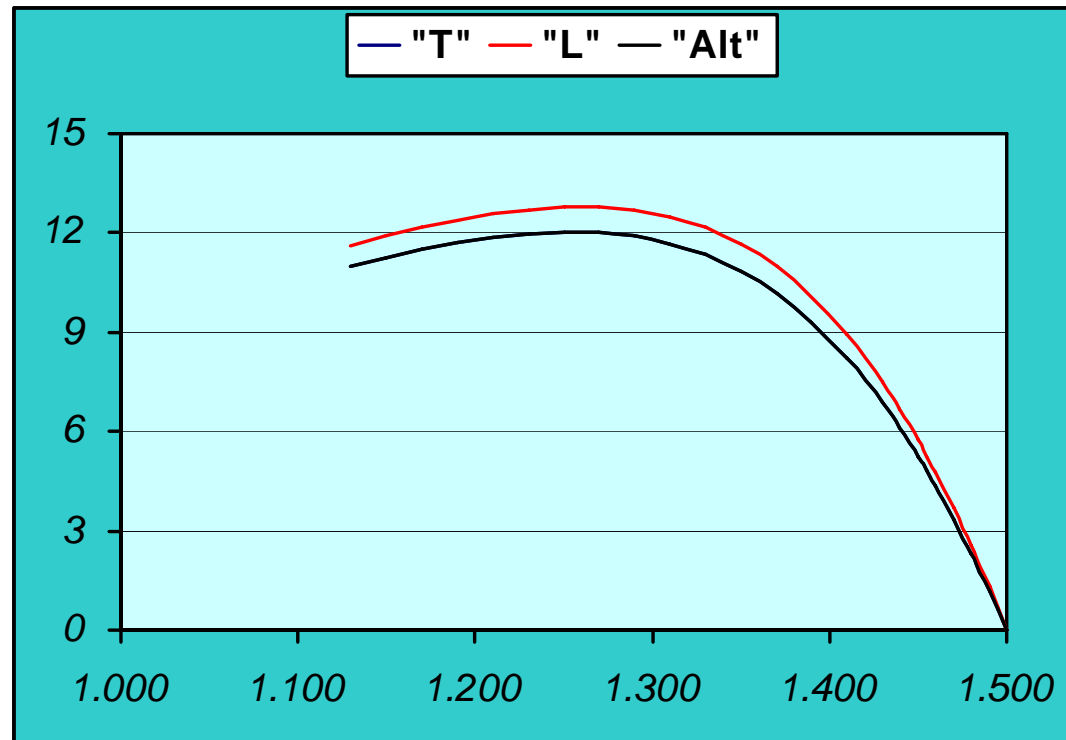


Comparação #2.1 - Potência Desenvolvida

P (kW)



n_r (rpm)



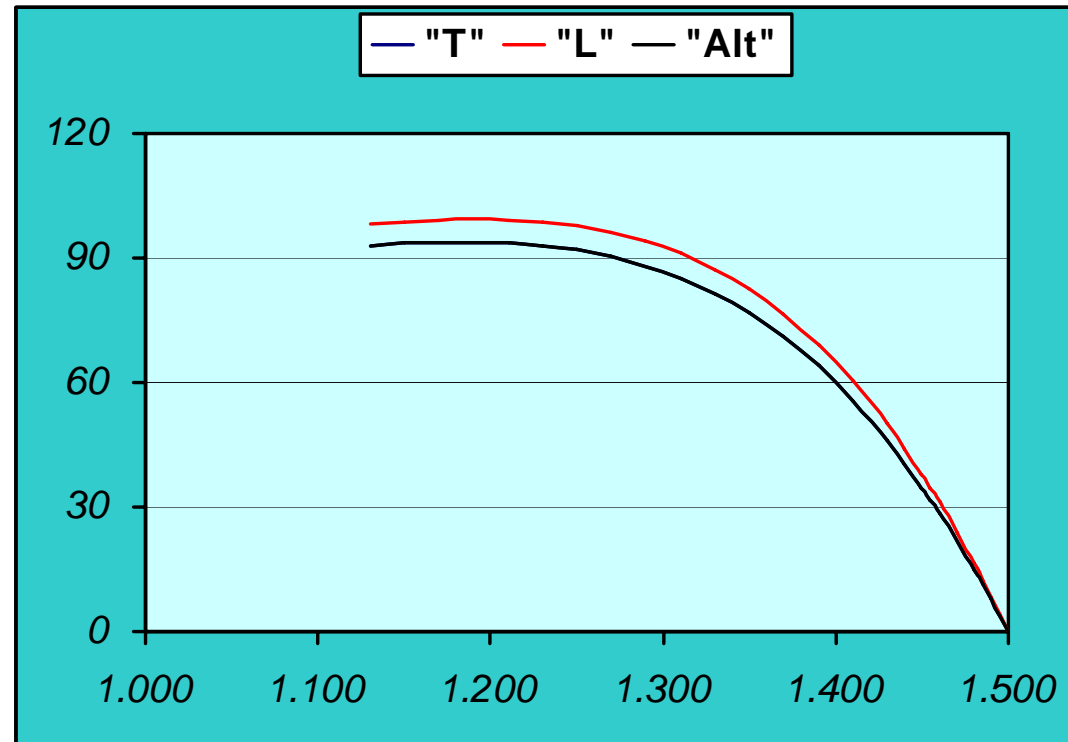


Comparação #2.2 - Binário Desenvolvido

T (Nm)



n_r (rpm)



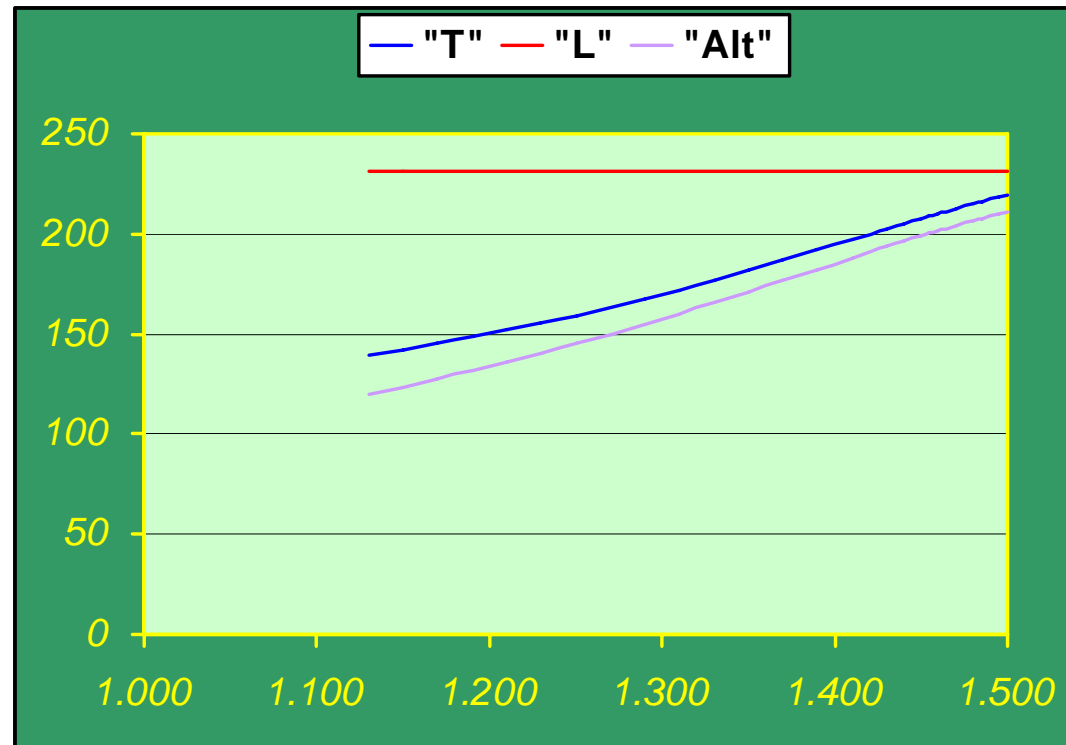


Comparação #3.1 – F.e.m. “Resultante”

E_s (V)



n_r (rpm)



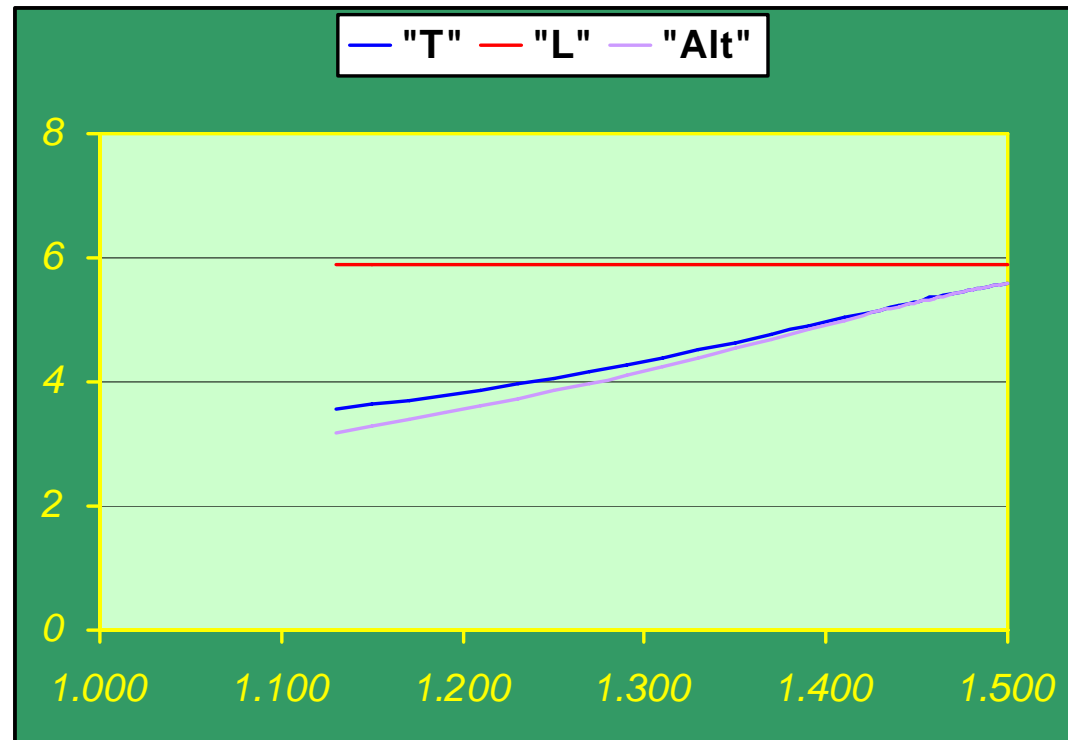


Comparação #3.2 - Corrente Magnetizante

I_m (A)



n_r (rpm)



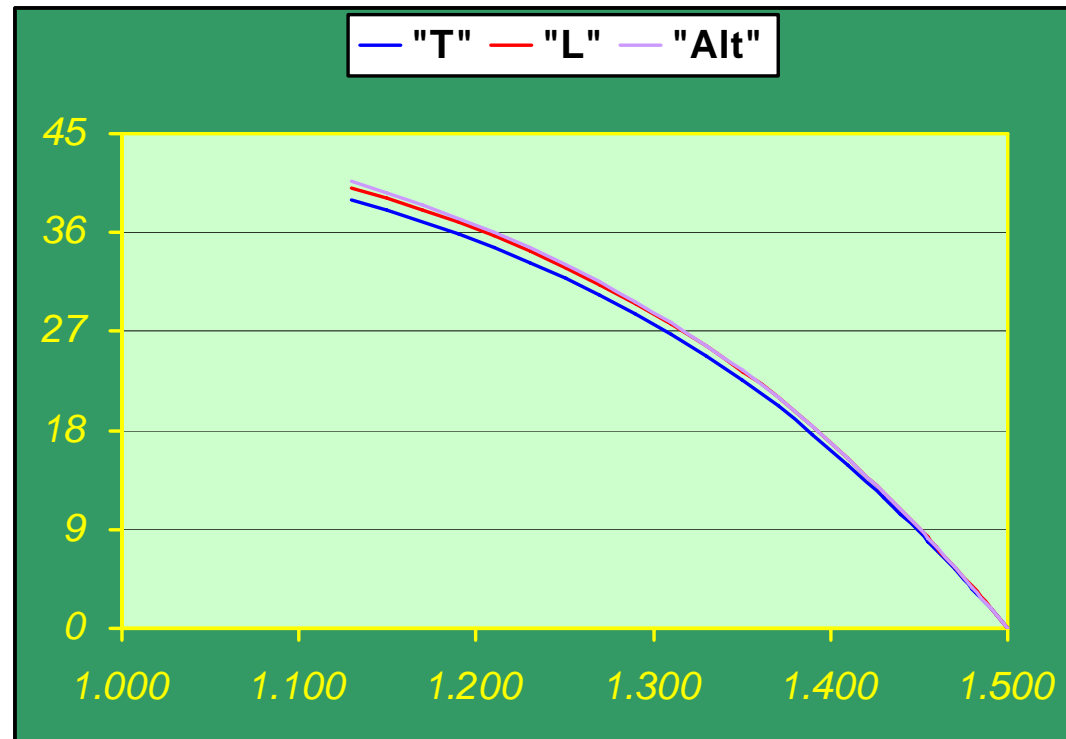


Comparação #3.2 – Corrente “Rotórica”

$I'_r - I_{sT}$ (A)

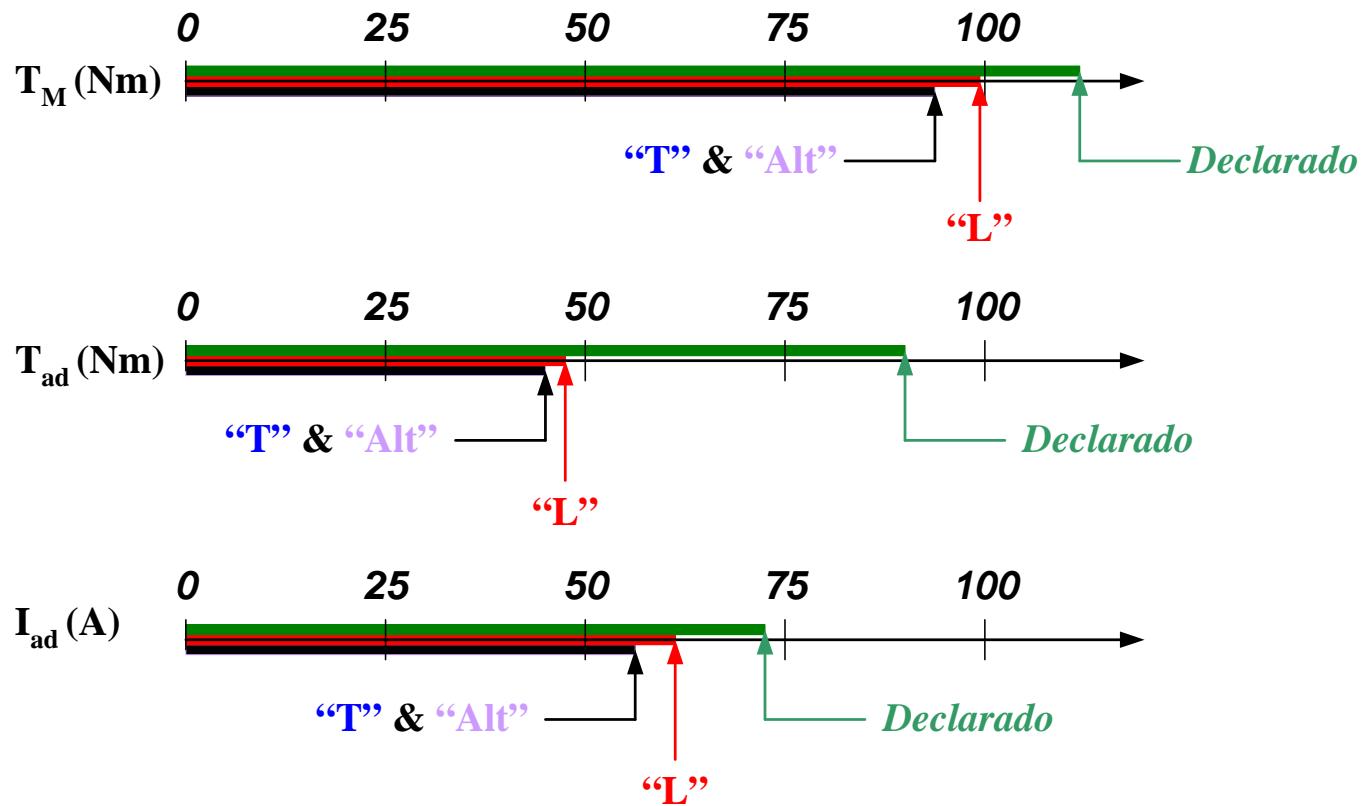


n_r (rpm)





Comparação #4 – Outros Valores





Determinação Laboratorial de Parâmetros

- *(futura) CEI 60034-28 → expressamente dedicada*
- *(2002) CEI 61972 → dedicada à determinação de perdas e do rendimento de motores de indução trifásicos*

não admite recurso ao esquema equivalente!

- *(futura) CEI 60034-2-1 → dedicada à determinação de perdas e do rendimento de máquinas rotativas [DC & AC]*

“tolera” recurso ao esquema equivalente...



Determinação Laboratorial de Parâmetros

- *(futura)* CEI 60034-28

R_s ← *medida directa [DC]*

$p_k ; p_{mec} ; p_{fe}$ ou R_{fe}

$L_s = (M_{sr} + L_{fs})$

← *ensaio em vazio c/ tensão variável [f_n]*

R'_r ← *ensaio em carga [$U_n - f_n - I_n$]*



Determinação Laboratorial de Parâmetros

▪ (futura) CEI 60034-28

$$L_{ft} = (L_{fs} + L'_{fr})$$

ensaio com $s = 2 [f_n]$ e corrente variável ($H < 132\text{mm}$)

ensaio com $s = 1 [f_n]$ e corrente variável ($H > 132\text{mm}$)

ensaios com frequência variável [reduzida]

c/ correcção por efeito pelicular rotórico

$$L_{fs} / L'_{fr}$$

de projecto ou:

= 2/3 – ranhuras profundas / dupla gaiola

= 1,0 – gaiola simples



Determinação Laboratorial de Parâmetros

▪ (futura) CEI 60034-2-1

R_s ← *medida directa [DC]*

$P_k ; P_{mec} ; P_{fe}$ ou R_{fe}

M_{sr}

$L_{fs} ; L'_{fr} ; R'_r$

← *ensaio em vazio c/ tensão variável [f_n]*

← *ensaio com $s = 1$ e frequência reduzida [I_n]*

c/ processos iterativos / extrapolação
(baseados em valores assumidos)



Determinação Laboratorial de Parâmetros

- (futura) CEI 60034-2-1

ou

$L_{fs}; L'_{fr}$ ← *ensaio com $s = 1$ e tensão reduzida $[f_n - I_n]$*

R'_r ←

ensaio c/ carga reduzida $[U_n - f_n]$

ou

ensaio de desaceleração em vazio $[U_n - f_n]$

c/ processos iterativos (baseados em valores assumidos)

P_{ad} ←

assumidas (...)



Conclusões

- ✓ *A opção entre os esquemas equivalentes “exacto” tradicional e o “simplificado” alternativo é praticamente indiferente, dependendo de factores subjectivos*
- ✓ *Há ainda trabalho a desenvolver na afinação de métodos de determinação experimental dos seus parâmetros*
- ✓ *É urgente a harmonização de procedimentos de ensaio*