



Critérios para o Benchmarking de aços elétricos GNO

Fernando JG Landgraf

Depto de Eng Metalúrgica e de Materiais

Escola Politécnica da USP

Consultor do IPT

**Trabalho apresentado no Painel Setorial INMETRO 2006
Qualidade de aços para fins eletromagnéticos**

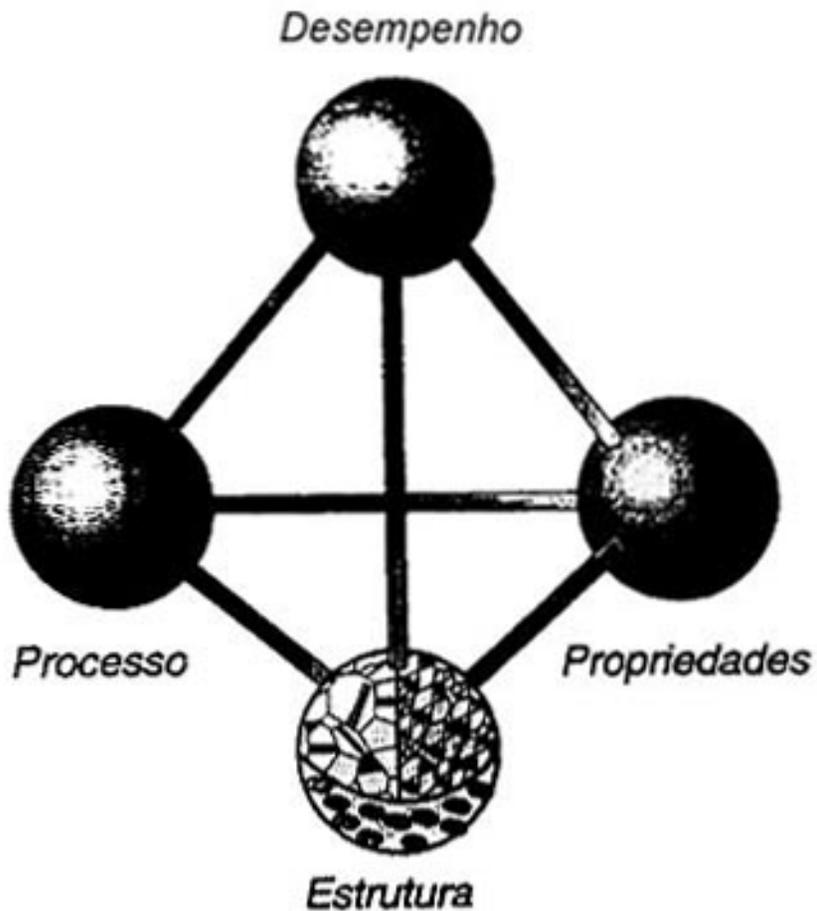


Benchmarking

- **Benchmarking** é um processo usado em gestão, no qual uma organização avalia vários aspectos de seu processo em relação à Melhor Prática em seu setor. (definição da Wikipedia).
- Este trabalho objetiva discutir os critérios de comparação entre aços elétricos, para definir qual é o Melhor Valor que pode ser obtido hoje.



O que comparar?



**Desempenho de que?
Vamos focar em motores elétricos:
Rendimento energético**

Tetraedro da Ciência dos Materiais

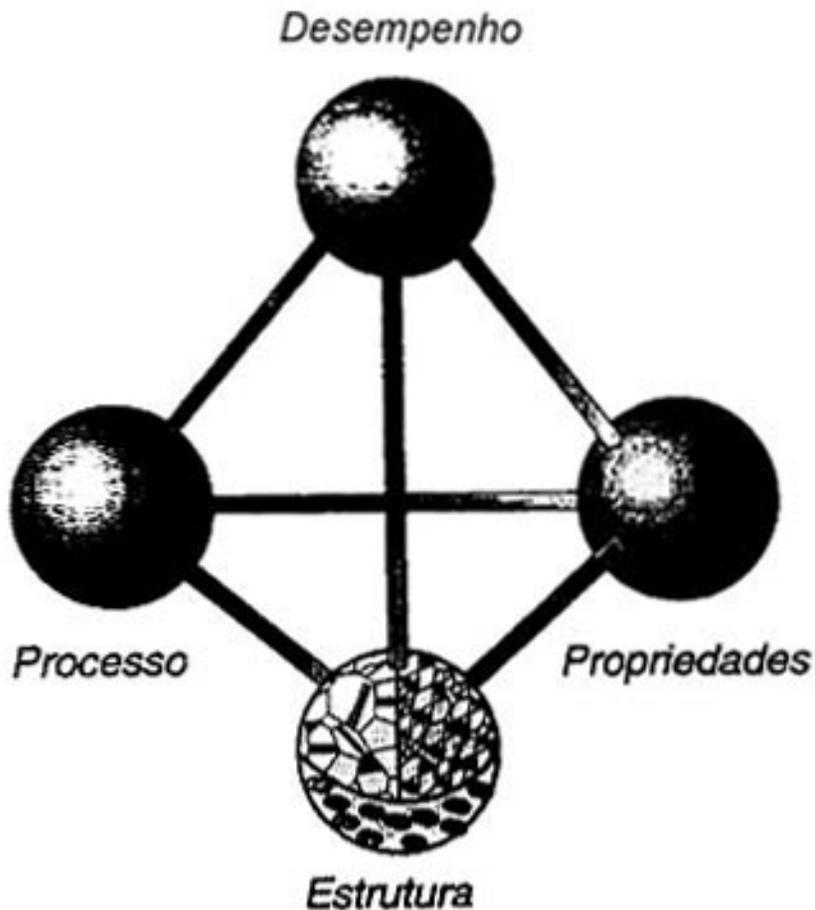


Rendimento Energético

Comparação entre motores de 1 KW feitos Com dois aços diferentes			Aço usado	
			1006	U260
Parcela de Perdas	Perda no ferro no estator	W	56	38
	Atrito e ventilação	W	23	7
	Perdas joule Estator em vazio	W	19	17
	Perdas joule rotor	W	55	51
	Perdas joule estator em carga	W	110	114
	Perda suplementar	W	50	17
Perda total		W	294	227
Pot Entrada		W	990	960
rendimento		%	70,5	76,3



Quais propriedades?



Desempenho de que?
Vamos focar em motores elétricos:
Rendimento energético

Quais são as propriedades relevantes?

Função: **criar torque**: permeabilidade

Efeito colateral: **consome energia**:
perdas.



Critérios de benchmarking

- Propriedades
 - Permeabilidade
 - **Perdas**
- Condições de medida
 - Frequência ... 60Hz
 - Indução máxima 1,5T
- Geometria da amostra
 - espessura



Desempenho x Propriedades

Correlação desempenho x Propriedade		Aço usado	
		1006	U 260
Perda no ferro no estator	%	5,6	3,9
Perdas no aço A 1,5T, 60Hz	W/kg	10,3	4,9
Perdas joule no estator em vazio	%	19	17
Permeabilidade a 1,5T	Adimens	1500	2100
Perda Joule no Estator em carga	%	11	11,9

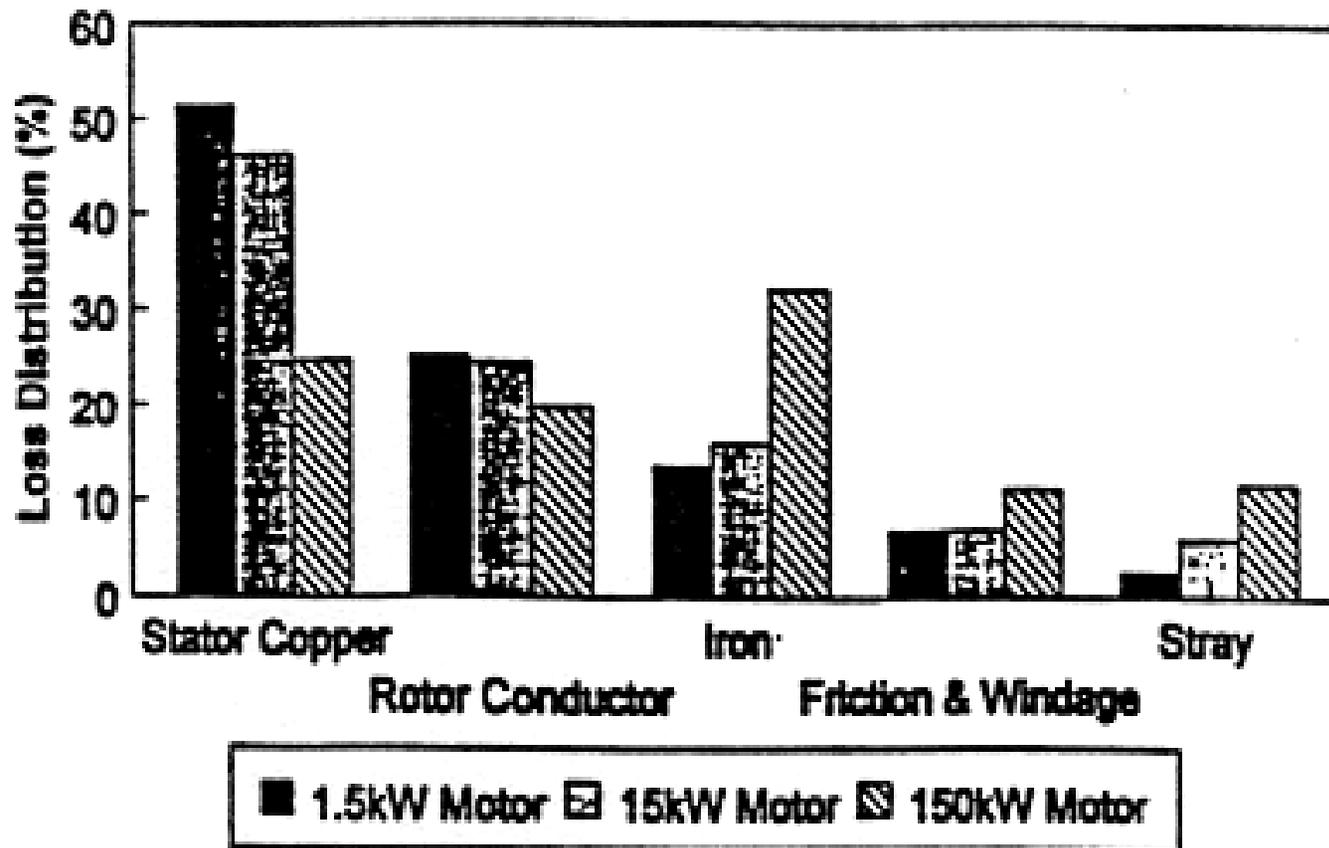


Não extrapolar!

- Não se deve generalizar os dados da tabela anterior.
- Ela reflete a comparação entre dois conjuntos de motores de um projeto de um fabricante.
- Justifica maior importância dada às perdas no ferro.

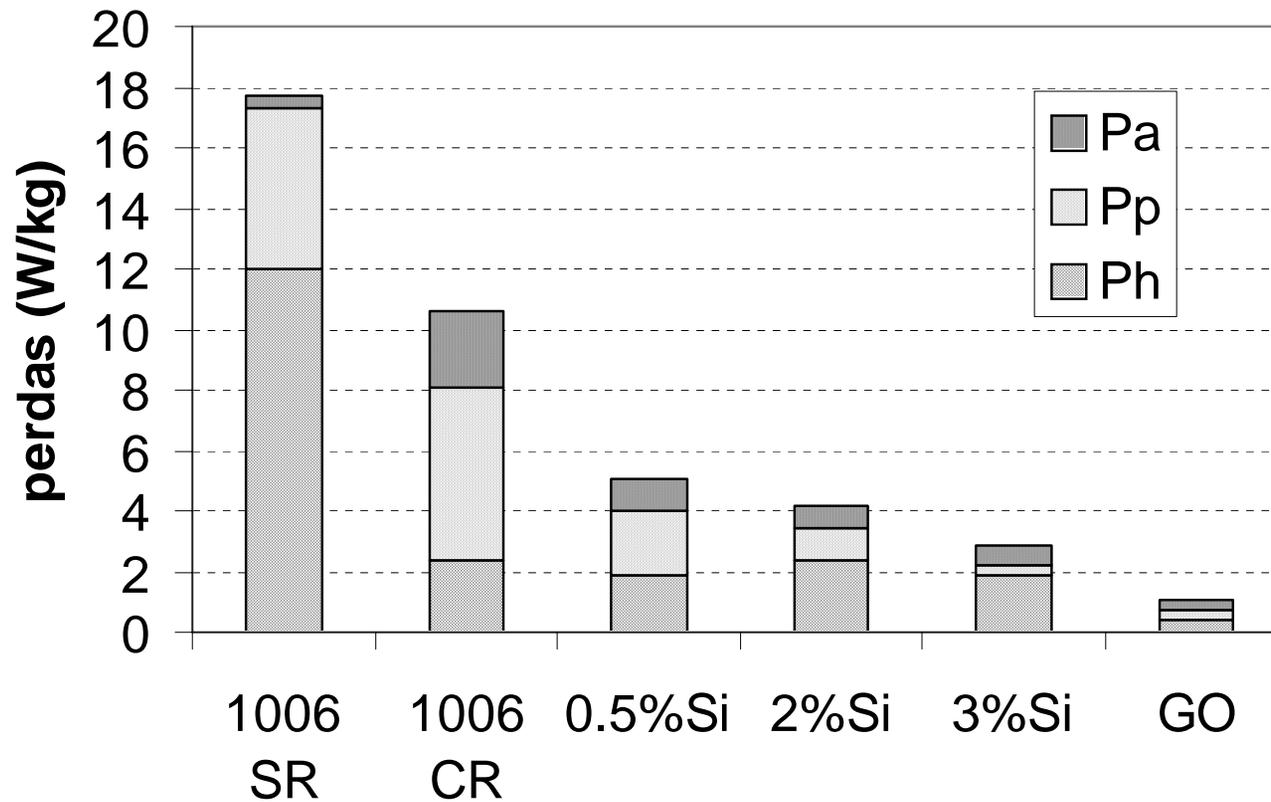


Quanto maior motor, mais importantes as perdas no ferro





Espectro de valores de perdas



Perdas a 1,5T 60Hz de diferentes aços

Grande espectro de valores

Problemas da comparação:

Diferentes %Si
Diferentes espessuras
Diferentes processamentos



Aços GNO

- **Aços Totalmente Processados**
 - Recozimento final diminui ~10% das Perdas
 - Si entre 2 e 3,5%, Fabricados só pela Acesita
 - Espessuras de 0,65mm, 0,5mm e 0,3mm
- **Aços semi-processados**
 - Recozimento final diminui ~50% das Perdas
 - Si entre 0 e 1,5%, Fabricados pela Usiminas, CSN, Cosipa, Brasmetal, Armco.
 - Espessuras entre 0,65 e 0,5mm.
- **Como comparar, como construir o benchmarking?**

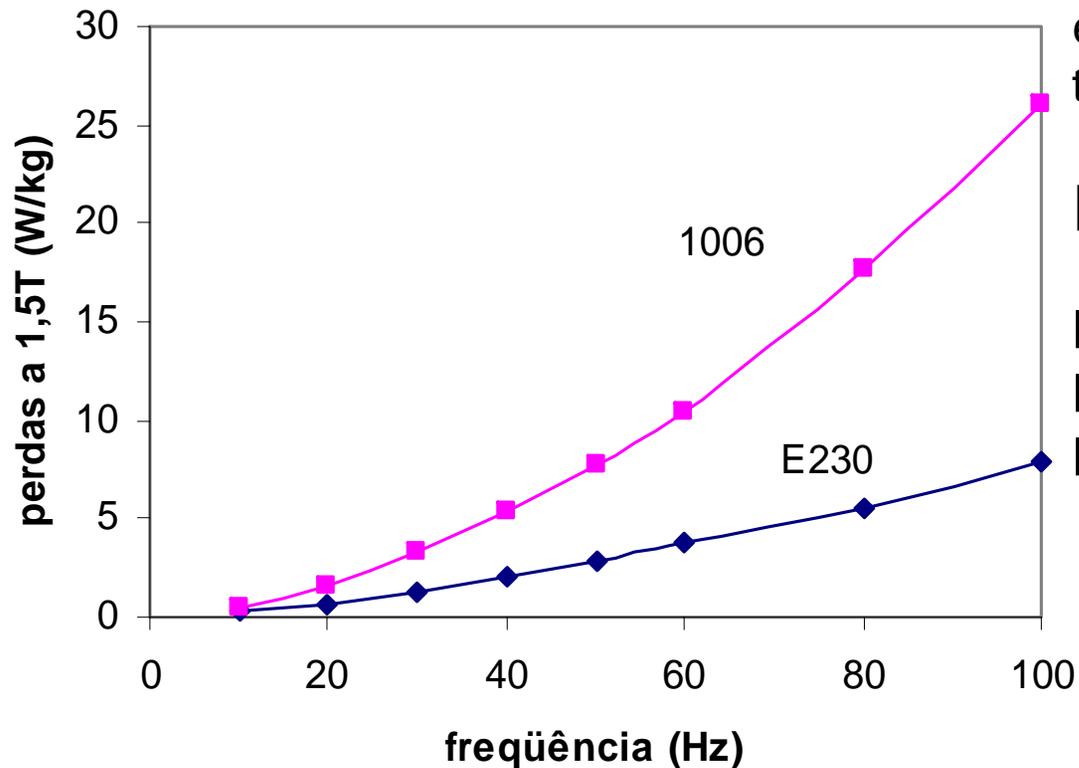


Como comparar?

- Sempre é possível comparar os valores de perdas das amostras disponíveis.
- Fica a questão: dá para melhorar? E se diminuir a espessura? E se aumentar a espessura? E se aumentar o teor de Si? E se aumentar o Tamanho de grão?
- Existe um método: O Modelamento por Separação das Parcelas de Perdas



Modelamento por Separação das Parcelas de Perdas



O efeito da frequência nas perdas é bem comportado, pode ser traduzido num equação do tipo

$$P_t = K_1 f + K_2 f^2 + K_3 f^{3/2}$$

$K_1 f$ é a parcela histerética

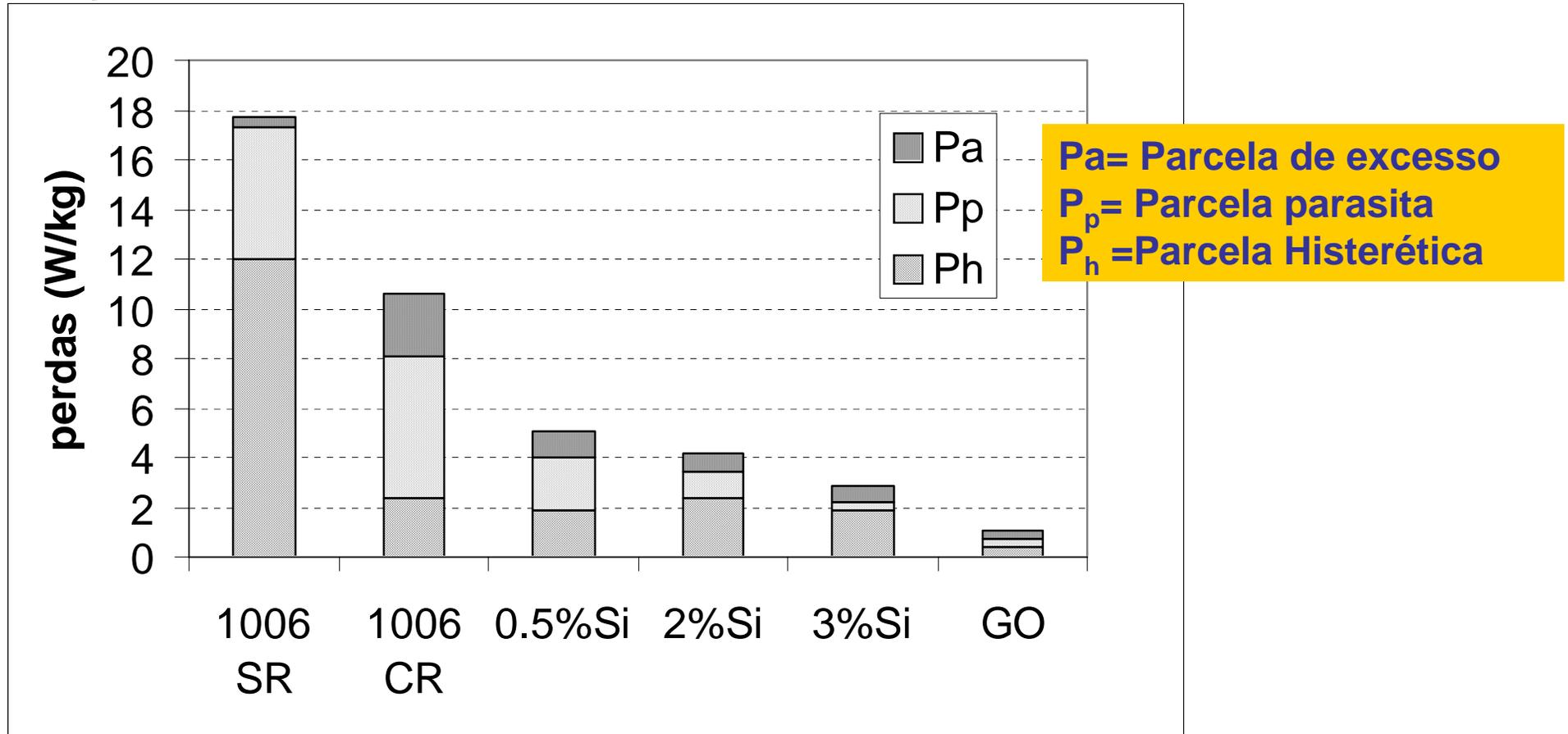
$K_2 f^2$ é a parcela parasita

$K_3 f^{3/2}$ é a parcela “de excesso”

Esse modelamento é a chave para o benchmarking De aços elétricos



Separação em Parcelas



Perdas a 1,5T 60Hz de diferentes aços



Variáveis que afetam as parcelas

- Parcela histerética
 - Tamanho de grão, discordâncias, inclusões não metálicas, textura, tensões residuais
- Parcela parasita
 - Composição química (via resistividade elétrica), espessura.
- Parcela “de excesso”
 - Composição química, tamanho de grão.



Proposta de critério de benchmarking

- Perdas histeréticas a 1,5T, 60Hz são muito sensíveis à microestrutura e ao processamento, e são praticamente insensíveis à composição e espessura.
- Assim, Ph são um excelente critério para o Benchmarking de aços para fins eletromagnéticos.



Benchmarking

Material	Esp.	Resist	Pt	Ph	Pa	B ₅₀	fabric	origem	Recoz
			1,5 60	1,5T 60	1,5T 60		c		
	mm	μΩ/cm	W/kg	W/kg	W/kg	T			
RM470	0,50	40,9	4,2	2,6	0,6	1,73	Kawa		N
390-50PP	0,50	44,6	4,4	2,9	0,5	1,7	EBG	CSN	N
E230	0,48	38	4,0	2,2	0,7	1,74	Acesi	Fitas	IPT
E145	0,51	46,5	4,0	2,3	0,7	1,68	Aces	Aces.	N
E110	0,48	54,2	3,2	1,7	0,6	1,67	Aces	Siem	
HPS-1	0,50	19,8	5,1	2,0	1,0	1,73	Kawa	Embra	Embr
RSC Z0	0,48	25	4,7	2,0	1,1	1,73	Kawa	Tecum	Tecum
RMA 350	0,50	32	4,4	2,2	0,9	1,735	Kawa	Weg	Weg
U260	0,51	24,2	5,1	2,3	1,0	1,71	Usi	CSN	Tecum
CSN 50450	0,49	28,2	4,3	2,0	0,9	1,69	CSN	CSN	
CSN 55700-II	0,47	22,3	5,1	2,1	1,3	1,70	CSN	CSN	
Fe 6,5%Si	0,1	82	2,0	1,4	0,6		JFE	Cardiff	
GO	0,27		1,0	0,4	0,3		Aces	Aces	



Conclusões

- O “Benchmark” de perdas histeréticas a 1,5T 60Hz é 0,4W/kg, obtido em aço GO, na DL.
- Aço 6,5%Si da JFE chegou a 1,4W/kg.
- Aços da Acesita chegam a 1,6W/kg.