

MEDIDA DE PERDAS MAGNÉTICAS EM FERRITAS DE MANGANES ZINCO

D. M. S. Linhares¹, F. J. G. Landgraf², S. R. Janasi², A. M. Gama², J.C. Teixeira².

1. Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro – Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810 – 193, Aveiro - Portugal.
2. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Av. Prof. Almeida Prado, 532 CEP 05508 – 901 – São Paulo – Brasil.

Contacto: landgraf@ipt.br

RESUMO

A propriedade magnética mais importante para as ferrites de manganês zinco é a perda magnética, medida em frequências da ordem de 10kHz. Esse material é cada vez mais usado em fontes chaveadas de potência elétrica e em núcleos de transformadores de reatores eletrônicos de iluminação. Os teores de ferro e zinco afetam a temperatura de Curie e, com isso, a anisotropia magnetocristalina, que controla o valor da perda magnética. O trabalho pretende estabelecer a metodologia de medida de perdas, em baixas induções, e avaliar o efeito da composição química nessa propriedade.

Palavras Chave: Permeabilidade inicial, Perdas por histerese, Efeito do tamanho de grão.

INTRODUÇÃO

Atualmente a cerâmica possui grande importância para o desenvolvimento da humanidade. Com o avanço da pesquisa tecnológica, a cerâmica está presente nas em diversas áreas, tais como a Cerâmica Electro-Electrónica, Cerâmica Nuclear, Cerâmica Óptica, Cerâmica Química, Cerâmica Termo-Mecânica e Cerâmica Magnética.

Estes materiais podem apresentar diferentes estruturas cristalinas, composição e aplicação. As ferrites que têm como base o Fe_2O_3 têm uma estrutura de cristalização do tipo espinélio, sendo que esta pode ser descrita da forma AB_2O_4 , onde A e B são, respectivamente, os catiões que ocupam as posições tetraédricas e octaédricas da célula unitária (Deshpand et al, 1996).

Muitos investigadores estão a desenvolver materiais que se caracterizam por uma indução de saturação e permeabilidade inicial elevadas, e baixas perdas.

Usualmente as ferrites são preparadas pelo método cerâmico convencional, entretanto outros métodos de obtenção de pós, de melhor qualidade, têm sido usados. A Síntese Hidrotermal (Drofenik et al., 2003), onde a obtenção dos pós é realizada em solução aquosa contendo os óxidos e nitratos necessários a altas temperaturas e pressão, utilizando-se um processo de autoclave. A Co-Precipitação (Janasi et al., 2003), Plasma Térmico (Matsuo et al., 1998) e Síntese por Combustão (Deshpand et al,

1996), que consiste em uma reacção exotérmica, numa câmara fechada, em vácuo ou na presença de um gás (O_2 ou N_2), são também métodos usados na obtenção de pós de elevada qualidade, entre outros.

As ferrites são extremamente sensíveis às condições de processamento, e, portanto, as suas propriedades apresentam grande dependência com a microestrutura. Assim, durante a etapa de sinterização, pressão parcial de oxigênio, o controlo da fronteira de grão, tamanho de grão e controlo do crescimento e da porosidade, são parâmetros a ter em atenção na obtenção de ferrites de elevada qualidade.

Algumas propriedades são dependentes da microestrutura e da química da fronteira de grãos. A importância da fronteira de grãos em ferrites moles está no controle dos mecanismos de perdas e de alta permeabilidade. As ferrites de Mn-Zn possuem, como perdas predominantes, as correntes parasitas e as perdas por histerese. As perdas por histerese aumentam quando a permeabilidade estática diminui e as perdas por corrente parasita vão-se tornando importantes à medida que se aumenta a frequência de operação. Uma das formas de se diminuir as perdas consiste no aumento da resistividade global da ferrite pelo aumento da resistividade na região da fronteira de grão. Isso pode ser alcançado pela utilização de dopantes. Dependendo da solubilidade na rede cristalina hospedeira, os dopantes podem segregar para as fronteiras, influenciar o crescimento do grão ou promover a formação de uma fase líquida ou ainda modificar a química da fronteira de grão formando uma fase não condutora. Adições de CaO e SiO_2 , em proporções adequadas, resultam em uma maior resistividade para as ferrites porque estas misturas podem desenvolver fases vítreas isolantes nos contornos de grãos (Matsuo et al., 1998).

A resistividade elétrica das ferrites é também afectada pela proporção de oxigênio na sinterização. As ferrites de Mn-Zn sinterizadas em nitrogênio (3 ppm de O_2) apresentam resistividade da ordem de $81 \Omega \cdot cm$, ao passo que quando sinterizadas em nitrogênio contendo 5% de O_2 a resistividade aumenta para $2 \times 10^6 \Omega \cdot cm$. Verifica-se que a resistividade das ferrites pode ainda ser aumentada por processos de recozimento onde as propriedades obtidas são dependentes da temperatura e do tempo de tratamento térmico. Esse tratamento térmico irá promover a oxidação dos íons Fe^{2+} tanto no interior do grão como no contorno do grão (Zaspalis et al., 2003). Nas ferrites com alta permeabilidade inicial o processo de sinterização deve ser conduzido de modo a permitir o controle da mobilidade da fronteira de grão e dos poros.

A escolha do tipo de ligante é também importante, tendo em vista a possibilidade da formação de resíduos que podem ser aprisionados no interior dos poros, podendo estes provocar o desenvolvimento de estados de tensão mecânica na ferrite, suficientes para degradar a sua permeabilidade magnética.

As fronteiras de grãos são regiões de grande desordem atômica e de segregação de impurezas. A mobilidade das paredes dos domínios magnéticos sofre ali uma redução devido à acção de fixação dessas fronteiras de grãos. Quando os poros são pequenos e discretos eles são menos efectivos na fixação das paredes de domínio do que são as regiões das fronteiras de grãos. Poros pequenos e discretos dentro do grão, apesar de serem indesejáveis, não são de todo prejudiciais ao movimento dos domínios magnéticos (Zaspalis et al., 2003).

Um dos mecanismos de magnetização actuantes nas ferrites é o deslocamento reversível das paredes dos domínios magnéticos. A magnetização é aumentada pela facilidade do deslocamento reversível das paredes desses domínios na direcção do campo magnético aplicado. Ferrites com maiores tamanhos de grãos possuem, relativamente, menos áreas de fronteiras de grão por unidade de volume do que as ferrites com menores tamanhos de grão. A permeabilidade está relacionada com a facilidade do movimento das paredes dos domínios magnéticos; ou seja; ela cresce linearmente com o aumento do tamanho do grão (Sottmaior et al., 2003).

Deve-se ter em atenção com o crescimento indiscriminado do tamanho do grão para aumentar a permeabilidade magnética, pois este aumento pode conduzir a produção de ferrites de qualidade inferior do ponto de vista mecânico, eléctrico e até mesmo magnético, porque com o aumento do tamanho do grão podem surgir imperfeições como poros, trincas e inclusões, reduzindo, desta forma, as suas resistências mecânicas, eléctricas e a permeabilidade pelo impedimento do movimento das paredes (Sottmaior et al., 2003).

As perdas totais à baixa frequência diminuem com o aumento do tamanho médio do grão porque as perdas por histerese são menores para ferrites de grãos maiores devido à dependência da coercividade sobre o tamanho do grão (maior tamanho do grão menor força coerciva).

Em condições de alta frequência, na utilização como núcleo de transformadores de alta frequência, o factor principal é a perda por correntes parasitas. Neste caso, um grão menor é mais indicado, o que pode ser explicado pela relação entre a frequência para a qual ocorre a ressonância da parede de domínio e o tamanho do grão da ferrite. Esta frequência de ressonância é proporcional ao inverso do quadrado do tamanho do grão (Matsuo et al., 1998).

O objetivo de um controle efetivo do crescimento e da velocidade de crescimento do grão no processo de sinterização, das ferrites, pode ser conseguido pela utilização de matérias primas de alto grau de pureza além da utilização de dopantes, que inibem o crescimento do grão. O controle da velocidade de crescimento é importante para se evitar que os grãos cresçam com velocidades diferentes, o que resultaria em uma estrutura chamada duplex (forma grãos de tamanhos diferentes) o que é indesejável. O tamanho de grão e a distribuição de poros são importantes parâmetros para se evitar a formação de estruturas duplex.

Para se obter uma baixa porosidade deve-se utilizar pós com área superficial específica elevada, ou seja, pós muito reactivos no processo de sinterização. Pode acontecer um poro se tornar maior do que o seu tamanho original, devido ao facto de que os poros não impedem o crescimento do grão podem mover-se ao longo destes, com o movimento de contorno de grão, coalescendo para grandes poros. Assim podemos ter microestruturas com grandes poros, mas com elevados tamanhos de grão. Desta forma os grãos permanecem livres de poros e a microestrutura tende para muito altas permeabilidades. Estudos sobre materiais óxidos demonstraram que grandes poros encontram-se com baixas taxas de sinterização. A combinação de baixa porosidade e grãos pequenos é difícil de se obter com o processamento cerâmico normal. Melhorias têm sido obtidas com a prensagem isostática a quente.

Trabalhos realizados acerca de métodos de produção por via húmida tem sido efectuados, pois apresentam pós com boa homogeneidade, alto grau de pureza, boa reatividade e com menor agregação, onde boas taxas de compactação são obtidas.

Desta forma a escolha da composição de uma ferrite é bastante importante, pois esta irá determinar o tipo de aplicação futura que lhe vai ser destinada, ou então, o tipo de aplicação vai determinar a composição da ferrite. Assim sendo, e dependendo da aplicação à qual a ferrite vai ser sujeita, podemos ter materiais com elevada μ , elevado B_s ou então elevado Q (Factor de Qualidade).

A fig.1 mostra o diagrama ternário da ferrite $MnZnFe_2O_4$, onde é possível observar três áreas distintas, com diferentes composições, dependendo da aplicação final das ferrites (Schaller, 1997).

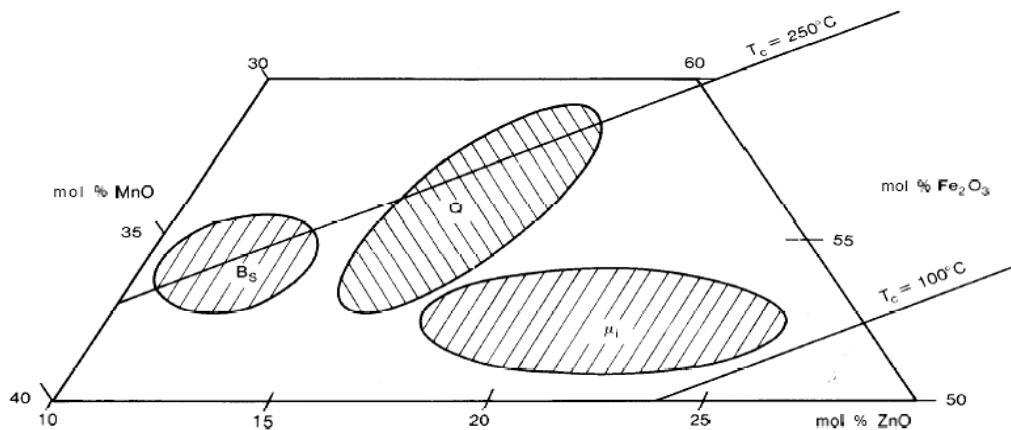


Figura 1 – Diagrama Ternário da composição da ferrite (Schaller, 1997).

A constante de anisotropia magnetocristalina (K), é uma das principais indicadores do comportamento magnético do material. Quanto maior o valor do módulo de K mais difícil é magnetizar e desmagnetizar um material policristalino. Assim a permeabilidade magnética, $\mu = B/\mu_0 H$, será tanto maior quanto mais próximo de zero for a constante K . Nas ferrites de manganês e zinco, a direcção espontânea de magnetização é, normalmente, a direcção $\langle 111 \rangle$. A constante K é, portanto, negativa. Um dos objectivos do controlo de processamento das ferrites é reduzir o valor do módulo da constante K , para melhorar as suas propriedades. A constante K varia com a temperatura, indo a zero na temperatura de Curie. Um dos princípios de composição nas ferrites é, justamente, ajustá-la para reduzir a temperatura de Curie e, com isso, reduzir K , para aumentar a permeabilidade (Gama, 2003).

MATERIAIS E MÉTODOS

O equipamento usado para a medição das propriedades foi um 1920 Precision LCR Meter, da QuadTech. Este equipamento mede propriedades aplicando correntes relativamente baixas e sem controle. Desta forma, ele permite apenas a medição da permeabilidade inicial e da perda para baixos campos. Outra propriedade do equipamento é que ele supõe que a corrente, portanto o campo H, e a tensão, campo B, são senoidais.

As amostras usadas neste trabalho foram amostras produzidas por um método cerâmico convencional e já tendo sido estudadas relativamente à sua Temperatura de Curie (Gama, 2003). Foram ainda usadas duas amostras comerciais, de modo a serem usadas como material de referência.

A permeabilidade é entendida em duas componentes, μ' e μ'' , em que $\mu = \mu' - i \mu''$, onde μ' representa a componente de B em fase com H (permeabilidade real), e μ'' refere-se à parte de B que se encontra desfasada de 90° , com H (permeabilidade imaginária). A permeabilidade inicial é equivalente à capacidade do material de ampliar o campo H. Já a permeabilidade imaginária é uma medida das perdas magnéticas supondo que o material possua propriedades lineares (B e H proporcionais).

A permeabilidade inicial (real), e a imaginária, respectivamente, são definidas pelas seguintes expressões (1) e (2):

$$\mu' = (L \cdot I) / (N^2 \cdot A \cdot \mu_0) \quad (1)$$

Onde **L** é a indutância (valor lido no LCR Meter), **I** o perímetro médio do toróide, **N** o número de enrolamentos (espiras) do toróide, **A** área média do toróide e μ_0 a permeabilidade no vácuo.

$$\mu'' = (R_{\text{tot}} - R_{\text{dc}}) \cdot I / (N^2 \cdot A \cdot \omega \cdot \mu_0) \quad (2)$$

R_{tot} é o valor da resistência medido no LCR Meter, **R_{dc}** a resistência do enrolamento em corrente directa, **I** o perímetro médio do toróide, **N** o número de enrolamentos (espiras) do toróide, **A** área média do toróide, ω a frequência angular e μ_0 a permeabilidade no vácuo.

O módulo da permeabilidade aparente é dada por (3):

$$\mu = (\mu'^2 + \mu''^2)^{1/2} \quad (3)$$

Sendo os valores de **R_{tot}** e **L** medidos no equipamento, 1920 Precision LCR Meter, e todos os outros parâmetros conhecidos, é fácil determinar a permeabilidade inicial, a imaginária e a aparente.

A frequência usada nesta parte do trabalho foi de 10 kHz, uma vez que é a mais usada em condições de teste deste tipo de material.

Para além destas grandezas de permeabilidade, também foram calculados os valores de Factor de perdas (4) e Factor de dissipação (5).

Assim as expressões são dadas por:

$$\text{Factor de perdas (Tg. } \delta) = \mu''/\mu' \quad (4)$$

μ'' e μ' são, respectivamente, permeabilidade imaginária e inicial (real).

$$\text{Factor de Dissipação} = \text{Tg. } \delta/\mu' \quad (5)$$

Tg. δ e μ' , é relativo ao factor de perdas e à permeabilidade inicial.

As perdas por histerese foram calculadas usando a expressão (6):

$$W_h = 4/3 * \eta * H_1^3 \quad (\text{J.m}^{-3}) \quad (6)$$

Onde H_1 é o campo magnético máximo aplicado e η refere-se à constante de Rayleigh.

De seguida vai ser explicada a forma como se obteve a constante de Rayleigh.

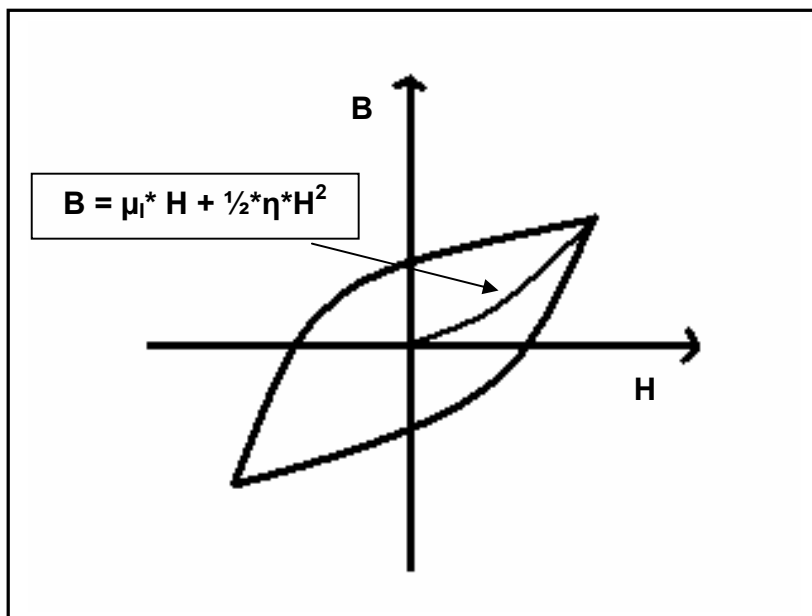


Figura 2 – Forma de cálculo da constante de Rayleigh.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras usadas neste trabalho são as mesmas que foram usadas em um outro trabalho. Na tabela 1 estão descritas as principais características das amostras utilizadas.

Tabela 1 – Dados das amostras utilizadas (Gama, 2003).

Amostra	Estequiometria	Tamanho de grão (μm)	Temperatura de Curie ($^{\circ}\text{C}$)
4675 - A1	$\text{Mn}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	64	106
4674 - A2	$\text{Mn}_{0.6}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.9}\text{O}_4$	61	109
4678 - A3	$\text{Mn}_{0.45}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2.05}\text{O}_4$	65	152
4682 - B4	$\text{Mn}_{0.55}\text{Zn}_{0.35}\text{Fe}_{2.1}\text{O}_4$	59	218
4683 - B5	$\text{Mn}_{0.45}\text{Zn}_{0.35}\text{Fe}_{2.2}\text{O}_4$	52	239
5737	-	-	≥ 130
5511	-	-	≥ 210

As amostras 5737 e 5511 são amostras da empresa Thornton e não temos nenhuns dados, fornecidos pela empresa, no entanto uma pesquisa no portal desta empresa, e em comparação com as dimensões das amostras, foi possível encontrar identificar estas amostras. Assim, as amostras 5737 e 5511 têm as designações, respectivamente, de TH 50 e de IP 12R. As suas principais características estão descritas nas tabela 2.

Tabela 2 – Dados das amostras 5511 e 5737

CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS THORNTON		
MATERIAL	IP 12R (5511)	TH 50 (5737)
	2100	5000
Permeabilidade Inicial μi	$\pm 25\%$	$\pm 25\%$
Factor de dissipação (rel.) $f = 10$ [Khz]	---	---
$\tan \delta / \mu\text{i} \cdot 10^{-6} f = 100$ [Khz]	---	---
Temperatura de Curie [$^{\circ}\text{C}$]	> 210	≥ 130
Coercividade [A/m]	18,0	10,0
Densidade de Fluxo ($\wedge\text{B}$) a 10 Oe, 23°C [10^{-3} T]	---	390
Densidade de Fluxo ($\wedge\text{B}$) a 15 Oe, 23°C [10^{-3} T]	510	---
Constante de Histerese (ηB) [10^{-3} /T]	---	$\leq 1,3$
Factor de Desacomodação ($D\text{r}$) [ppm]	---	---
Densidade (ρ) [Kg/m^3]	4800	4900

Permeabilidade em função da frequência, para B constante (1 Gauss)

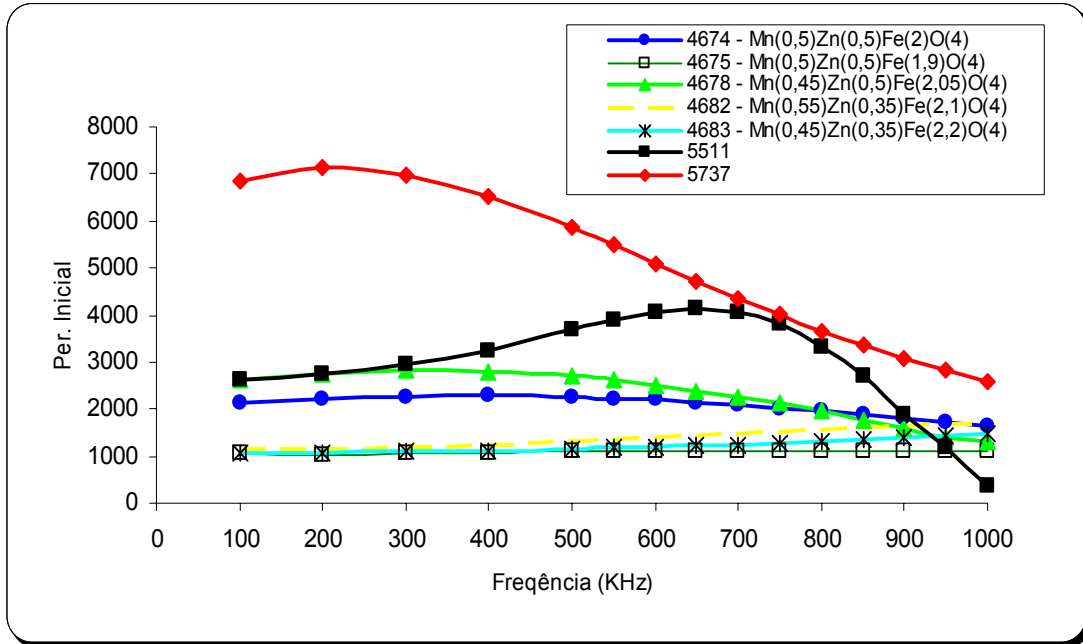


Figura 3 – Permeabilidade Inicial em função da frequência.

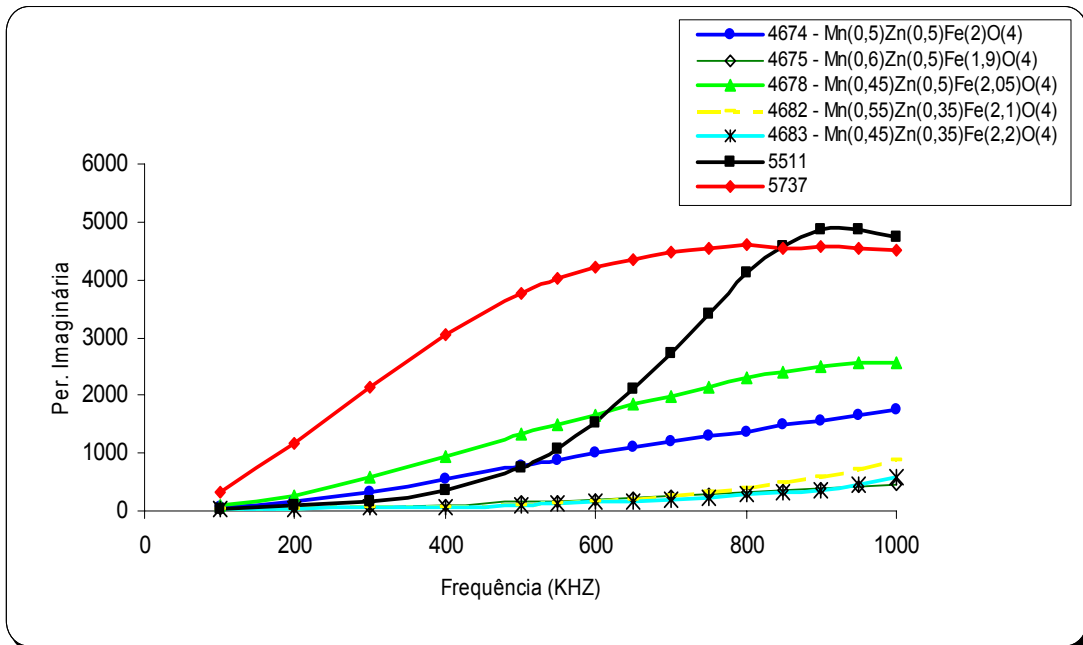


Figura 4 - Permeabilidade Imaginária em função da frequência.

Para mantermos a densidade de campo magnético constante, tivemos de manter a relação V/fre constante, ou seja, á medida que aumentamos a frequência temos de ir aumentando a tensão para mantermos essa relação constante, de forma a que o fluxo se mantenha constante.

Pela análise das figuras 3 e 4 observamos que com o aumento da frequência, tanto a permeabilidade inicial quanto à imaginária, vão aumentando. Para a amostra 5737 a permeabilidade inicial começa a cair aos 200 kHz, o limita a aplicação desta amostra a baixas frequências, enquanto a 5511 só começa a cair dos 700 kHz. As restantes amostras apresentam um comportamento relativamente constante, sendo que a 4678 é a que começa a perder, mais significativamente, permeabilidade após os 400 kHz, ao invés as amostras 4682 e 4683 a permeabilidade vai aumentando até 1000 KHz. A amostra 4675 apresenta um uma permeabilidade bastante homogênea à medida que é aumentada a frequência. Relativamente à permeabilidade imaginária, observamos que esta aumenta à medida que aumentamos a frequência.

Observamos que com o aumento da quantidade de ZnO presente nas amostras aumenta a permeabilidade, não se verificando o mesmo para o caso da amostra 4675, ou seja, as amostras 4674 e 4678 têm valores de permeabilidade inicial mais elevados que as 4682 e 4683 porque contém mais ZnO. Isto leva a concluir que as amostras 5737 e 5511 terão valores mais elevados de ZnO. O comportamento anormal da amostra 4675 pode ser explicado pelo facto de que esta apresenta uma quantidade de Fe_2O_3 mais baixo que as demais.

Permeabilidade em função da indução, para frequência constante (10kHz)

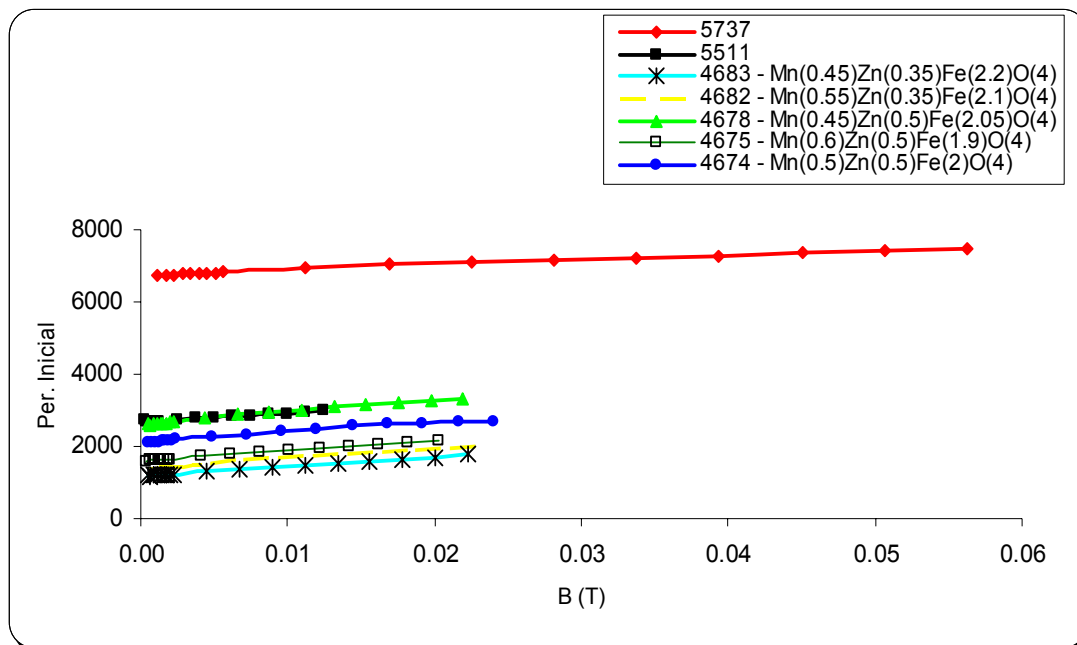


Figura 5 – Permeabilidade inicial em função da densidade de Campo Magnético.

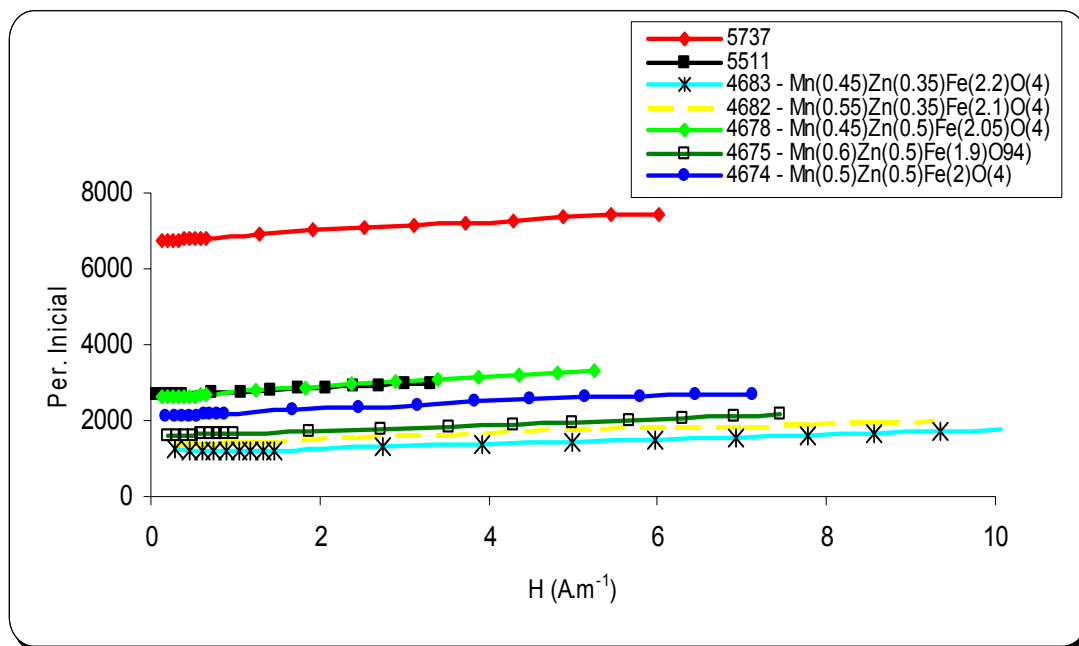


Figura 6 – Permeabilidade inicial em função do Campo Magnético.

Observamos que à medida aumentamos B e H a permeabilidade vai aumentando. Este comportamento é esperado, uma vez que com o aumento da tensão (V) aumenta o fluxo magnético (ϕ), o que por sua vez provoca um aumento da densidade de campo magnético (B). Com o aumento do ϕ , aumenta a corrente induzida (I), o que provoca um aumento do campo magnético (H).

A elevada permeabilidade pode ser explicada pelo tamanho de grão, ou seja, quanto maior este for, maior será a permeabilidade, pois ferrites com maiores tamanhos de grãos possuem menos áreas de fronteiras de grão por unidade de volume do que as ferrites com menores tamanhos de grão. A permeabilidade está relacionada com a facilidade do movimento das paredes dos domínios magnéticos; ou seja, ela cresce linearmente com o aumento do tamanho do grão (Sottmaior). Isto pode ser confirmado se compararmos as figuras 5 e 6 com a tabela 1 onde a amostra 4683 tem tamanho de grão menor e apresenta permeabilidade mais baixa, e quanto maior for o tamanho de grão mais elevado é o valor de permeabilidade. Visto isto podemos dizer que o toroíde 5737 têm tamanho de grão elevado e o 5511 tem um valor muito próximo do 4678.

Factor de perdas e factor de dissipação em função do campo magnético, para frequência constante (10 kHz)

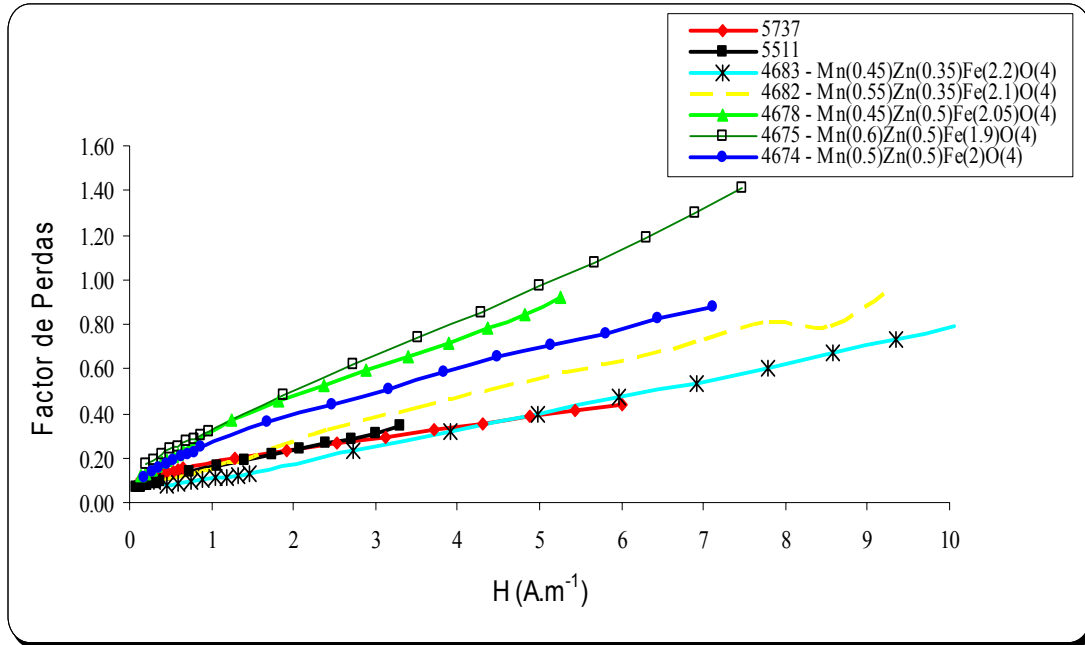


Figura 7 – Factor de perdas (tg δ) em função do Campo Magnético.

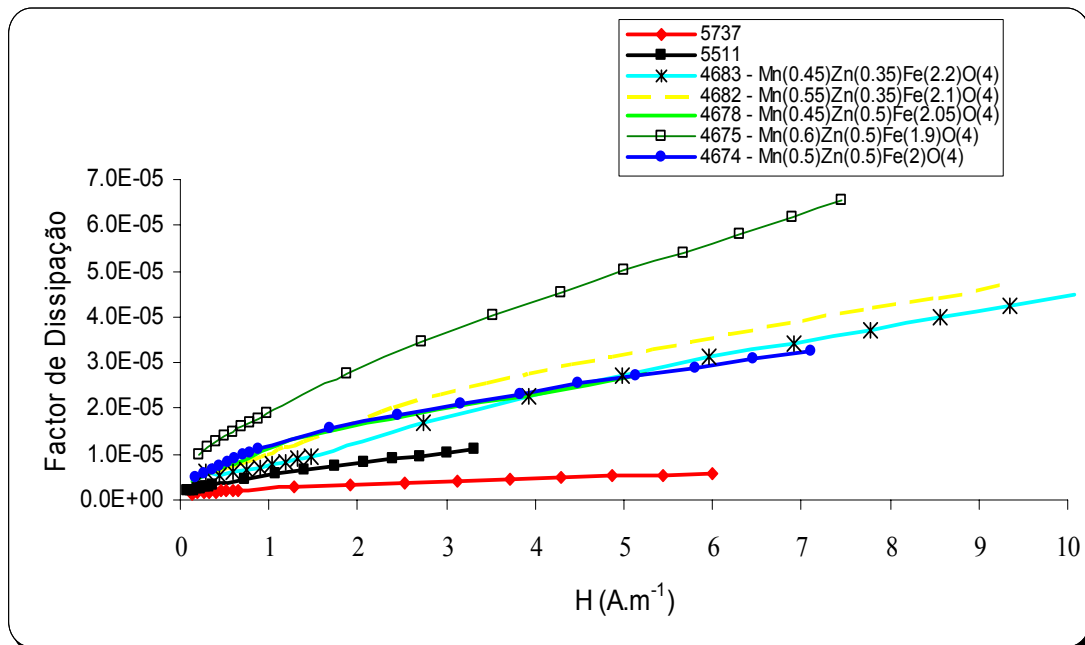


Figura 8 – Factor de dissipação (tg δ/μ_i) em função do Campo Magnético.

Na análise da figura 7 observamos que quanto maior o campo magnético, maior é o factor de perdas, sendo que a amostra que apresenta menor factor de perdas é a 4683 e a que tem maior valor é a 4675. Relativamente à figura 8, observamos que as amostras 5737 e 5511 são as que menores valores de dissipação apresentam. Este comportamento é o esperado, uma vez que à medida que aumentamos H, o factor de perdas (que é proporcional às perdas totais, ou seja, perdas por histerese mais as perdas por correntes parasitas) vai aumentando, pois as perdas por histerese (6) aumentam com o aumento do H. O factor de dissipação (5) também aumenta com o aumento do factor de perdas, pois a relação é directa, basta para isso analisar as expressões (4) e (5). Uma outra explicação para este comportamento refere-se aos valores de permeabilidade inicial. As amostras 5737 e 5511 são as que apresentam maior permeabilidade, logo apresentaram factores de dissipação mais baixos (5).

Perdas por histerese (Wh) para B a 10 Gauss, a frequência constante (10kHz)

Foram calculadas as perdas por histerese, usando a expressão (6), para o Campo Magnético máximo atingido para cada amostra.

Tabela 3 - Perdas por Histerese.

Amostra	H (A.m⁻¹)	Wh (J.m⁻³)	% molar de ZnO	Tg δ
5737	0,12	1,27E-04	-	4.30E-03
5511	0,30	6,41E-04	-	1.22E-02
4683	0,67	1,28E-03	18	4.90E-03
4682	0,57	1,04E-03	18	7.60E-03
4678	0,31	6,43E-04	25	1.30E-02
4675	0,50	1,13E-03	25	2.00E-02
4674	0,37	6,62E-04	25	1.60E-02

Analisando a tabela 3 observamos que quanto maior for o valor de campo magnético, H, atingido maiores são os valores das perdas por histerese, Wh, e mais baixos será o factor de perdas, Tg δ . Comparando estes valores com os valores de tamanho de grão, tabela 1, observamos que para tamanhos de grão menores temos maiores valores de perdas por histerese, ou seja, quanto maior o tamanho de grão menores serão as perdas (Sottmaior), o que nos leva a dizer que o tamanho de grão da amostra 5511 será grande, ligeiramente maior, do que a amostra 4678. Isto leva a dizer que a amostra 5737 terá um tamanho de grão intermédio. No entanto pode parece contraditório com a explicação para os valores de permeabilidade inicial (figura 2), pois é conhecido que quanto maior o tamanho de grão maior será o valor da permeabilidade. Pode-se explicar este facto pelo aumento de resistividade da

fronteira de grão (Sottmaior), quer pelo uso de dopantes adequados quer pelo controlo da atmosfera de sinterização. Assim podemos dizer que as amostras 5737 e 5511, produzidas pela Thornton, serão produzidas com a adição de dopantes ou com um controlo efectivo da atmosfera de sinterização, ou por ambos os casos. Assim podemos dizer que estas amostras têm baixas perdas por controlo da atmosfera de sinterização e uso de dopantes e elevados tamanhos de grão para ter permeabilidades elevadas, sendo que a amostra 5737 terá um tamanho de grão elevado, enquanto o da 5511 será muito próximo de 65 μm (4678).

Relativamente à constante de anisotropia magnetocristalina, e analisando a tabela 2, podemos afirmar que a amostra 5737 terá um valor de K bastante baixo, uma que a sua temperatura de Curie é baixa. O elevado valor de permeabilidade inicial vem de encontro a esta observação. A 5511 terá então um valor de permeabilidade mais baixo, pois apresenta uma temperatura de Curie mais elevada, e por isso uma constante de anisotropia magnetocristalina maior. Uma vez mais, e observando a figuras 3, 5 e 6 verificamos que a amostra 5511 têm uma permeabilidade mais baixo que a 5737, indo, desta forma, de encontro ao relatado na bibliografia. Ao contrário, o que é observado nas restantes amostras, é que esta relação entre temperatura de Curie e permeabilidade não se verifica, ou seja, baixas temperaturas de Curie não correspondem a elevadas permeabilidades. Assim poderemos dizer que a constante de anisotropia magnetocristalina não terá um valor baixo, tão baixo quanto para as amostras 5737 e 5511.

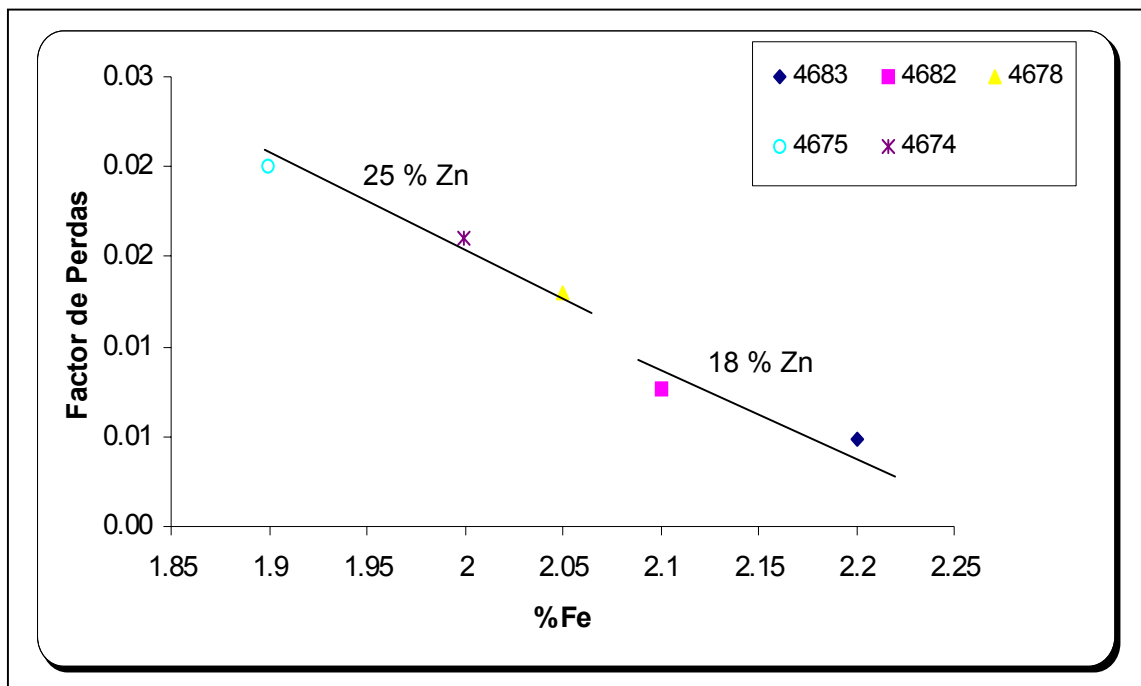


Figura 9 – Perdas por histerese em função da % de ferro.

Na análise da figura 9 podemos observar que o factor de perdas diminui à medida que aumentamos a % de ferro. O que observamos, relativamente à permeabilidade (Gama, 2003), é que

quanto maior for a % de zinco maior é a permeabilidade, que vem de encontro aos nossos resultados. O factor de perdas segue o mesmo comportamento, ou seja, quanto menor a % de zinco menor é o factor de perdas, tal como é observado.

CONCLUSÕES

Após a discussão de resultados as principais conclusões a que se chegaram foram:

- Medir permeabilidade inicial e imaginária, em função da frequência, sem controlar nenhum dos outros parâmetros (B, por exemplo) é uma forma errada de se caracterizar estes materiais;
- Concluimos que o aumento da permeabilidade inicial aumenta com o aumento da quantidade de ZnO presente nas amostras, mas terá de existir uma quantidade mínima de Fe₂O₃ para que o efeito contrário não se verifique, ou seja, elevadas quantidades de ZnO e pequenas de Fe₂O₃ levam a valores de permeabilidade baixas. As amostras 5737 e 5511 terão valores mais elevados de ZnO, que as restantes;
- Elevadas permeabilidades são conseguidas por um tamanho de grão grande, pois quanto maior este for maior é essa mesma permeabilidade. As amostras 5737 e 5511 devem ter tamanhos de grão elevado;
- A amostra 5737 é de melhor qualidade que as restantes uma vez que apresenta factor de dissipação e perdas por histerese mais baixa que as restantes, e elevada permeabilidade;
- As perdas por histerese (Wh), é tanto maior quanto maior for o campo magnético (H), atingido pela amostra. Serão tanto menores quanto maior for a % de Zn presente nas amostras. O factor de perdas aumenta com o aumento da quantidade de zinco e diminui com o aumento de ferro. As amostras 5737 e 5511 terão um controlo de atmosfera adequado e/ou o uso de dopantes de forma a que a resistividade da fronteira de grão seja elevada (baixas perdas) e haja crescimento de grão (elevada permeabilidade). Relativamente à constante de anisotropia cristalina (K) podemos dizer que as amostras 5737 e 5511 são as que possuem valores mais baixos, pois apresentam valores de permeabilidade mais elevados, ao contrário das restantes, que apresentam permeabilidades mais baixas.

REFERÊNCIAS

Deshpand, C.E; Date, S.K. Recent developments in processing of Mn – Zn ferrites. **Indian Journal of Chemistry**, vol 35 A, p. 353-365, 1996.

Dreikorn, J.; Dreyer, R.; Michalowsks, L.; Rossel, J.; Sicker, J. Manganese-Zinc Ferrites whith improved proprieties, **Journal of Physics**, vol. 4, 1998.

Drofenik, M.; Znidarsic, A.; Kosak, A.; Makovec, D. Dispersant-assisted hydrothermal synthesis of MnZn ferrites from raw oxides. **Journal of Materials Science**, vol 38, p. 3063-3067, 2003.

Gama, A. M. Efeito das proporções de Mn/Zn e Fe/Mn+Zn na temperatura de Curie de ferrites do tipo $(\text{Mn}+\text{Zn})_{1-x}\text{Fe}_{2+x}\text{O}_{4-\delta}$, Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo, 2003

Janasi, S.R.; Rodrigues, D.; Landgraf, F.J.G. Effect of Calcination on the Magnetic Proprieties of MnZn ferrites Powders Produced by Co Precipitation, 2003.

Matsuo, Y.; Otobe, S.; Nakao, F.; Sakamoto, H. Development of a ferrite Material for Inductive Chargers. **JEVA Electric Vehicle Forum**, 181, 1998.

Schaller, G.E. Ferrite Processing and Effects on Material Performance, **Ceramic Magnetics**, 11th IEEE International Pulsed Power Conference, Baltimore, Maryland, 1997.

Son, S; Swaminathan, R; McHenry, M.E. Structure and magnetic properties of rf thermally plasma synthesized Mn and Mn-Zn ferrite nanoparticles. **Journal of Applied Physics**, vol 93, number 10, 2003.

Sottmaior, J.C.S.; Santos, L.F. Cerâmica Magnética – Ferrites e Ferrimagnetismo, 2003.

Zaspalis, V.T.; Tsakaloudi, V.; Papazoglou, E. Relation Between Firing Conditions Grain Boundary Struture na Magnetic Proprieties in Polycrystalline MnZn-Ferrites, **Journal of Electroceramics**, vol. 11, p. 107-117, 2003.

MEASURE OF MAGNETIC LOSSES IN FERRITES OF MANGANES ZINC

ABSTRAT

The more important magnetic property for manganese ferrites zinc is the magnetic loss, measure in frequencies of the order of 10 KHz. This material is each more used time in keyed sources of electric power and nuclei of transforming of electronic reactors of illumination. The texts of iron and zinc affect the temperature of Curie and, with this, the magnetostrictive anisotropy, that the value of the magnetic loss controls. The work intends to establish the methodology of measure of losses and to evaluate the effect of the chemical composition in this property.

Key-Words: Initial Permeability, Hysteresis Losses, Effect of the grain size.