

ANÁLISE DE TEXTURA CRISTALOGRÁFICA DE AÇOS SEMI-PROCESSADOS¹

*Eduardo Cavalcante da Silva²
Fernando José Gomes Landgraf³
Nicolau Apoena Castro⁴*

Resumo

O objetivo desse trabalho é analisar a textura cristalográfica de aços elétricos GNO sob diferentes condições de processamento no sentido de obter uma textura boa para materiais magnéticos modificando variáveis presentes nas etapas de processamento de aços elétricos, como tamanho de grão da bobina a quente e laminação de encruamento final.

Palavras-chave: Textura cristalográfica; Aços elétricos; Laminação de encruamento; ODF.

Abstract

This work aims to analysis the cristallographic texture of NO electrical steels under different processing conditions in direction to get a good texture for magnetic materials modifying variables presents in electrical steels, like hot band's grain size and. skin pass.

Key words: Cristallographic texture; Electrical steel; Skin pass; ODF.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Mestrando; Escola Politécnica(USP) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas(IPT).
ecs1979@hotmail.com*

³ *Professor Doutor livre docente - Escola Politécnica(USP)*

⁴ *Doutor; Usiminas – Ipatinga(MG)*

1 INTRODUÇÃO

Muitas aplicações de aços para fins magnéticos exigem isotropia de propriedades no plano da chapa, neste nicho entram o aços de grão não-orientado (GNO). A condição isotrópica destes tipos de aços é essencial para a aplicação em motores elétricos que é de longe o principal segmento consumidor de aços elétricos, seguido pelo uso em transformadores, nos quais são usados aços de grão orientado (GO). O processo de fabricação dos aços elétricos GNO semi-processados exige uma etapa final de laminação de encruamento, após esta etapa o material está pronto para ser vendido porém exige do fabricante de motores um recozimento final - descarbonetante ou não, depende do tipo de bobina a quente utilizada. Nesse recozimento haverá crescimento de grão induzido por deformação (aplicada durante laminação de encruamento) e redução do teor de carbono proporcionando melhores propriedades magnéticas - no caso de necessitar recozimento descarbonetante.⁽¹⁻³⁾

A Figura 1 mostra uma representação esquemática do processo de fabricação dos aços elétricos GNO totalmente processados:

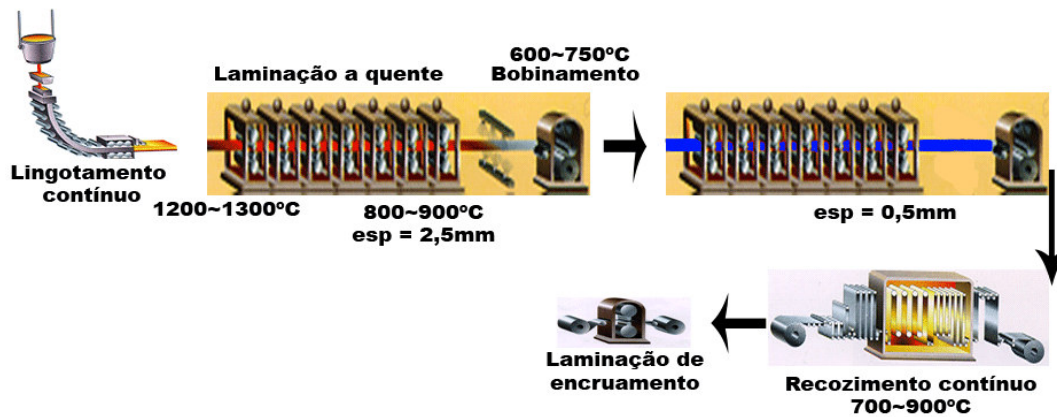


Figura 1: Representação esquemática do processo de fabricação de aço elétrico GNO totalmente processado.⁽¹⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada a seguinte bobina a quente (BQ), de aço do tipo ultra baixo carbono sendo sua composição química apresentada na Tabela 1. A composição química afeta a resistividade elétrica dos materiais, que por sua vez afeta as perdas magnéticas. A resistividade obtida para esta bobina foi 18 $\mu\Omega\text{cm}$.

Tabela 1: Composição química da BQ

Elemento	BQ(%massa)
C	0,003
Al	0,03
Si	0,24
O	0,002
N	0,002
S	0,01
P	0,01
Mn	0,18

Os processamentos que serão analisados neste trabalho estão descritos na

Tabela 2, eles foram realizados no sentido de reproduzir o processamento de aços elétricos semi-processados de grão não-orientado. Foi visado neste trabalho obter tamanhos de grão grandes nas bobinas a quente por laminação de encruamento de diferentes intensidades ($\epsilon=6,0$; 8,5 e 11,3%) seguido de recozimento. A laminação a frio, expressado pela letra “L”, representa a redução de espessura do material até 0,6mm. A última laminação de encruamento do processo foi denominada de “Skin Pass”, sendo utilizada a sigla “SkP” para expressá-la.

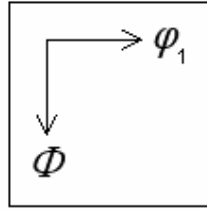
“ ϵ ” significa deformação real, é expresso segundo a equação:

$$\epsilon = \ln(L_f/L_o) = \ln(e_o/e_f)$$

L_f-comprimento final; L_o - comprimento inicial; e_o- espessura final; e_f- espessura final

Tabela 2. Descrição dos procedimentos utilizados a partir da BQ

BQ com TG grande proveniente de 6% de deformação		BQ com TG grande proveniente de 8,5% de deformação	
Identificação	Descrição	Identificação	Descrição
BQ(6%)R	BQ + laminação de encruamento($\epsilon=6\%$) + recozimento (vácuo/800°C/24horas)	BQ(8,5%)R	BQ + laminação de encruamento ($\epsilon=8,5\%$)+recozimento (vácuo/800°C/8horas)
BQ(6%)RL	BQ(6%)R + laminação a frio	BQ(8,5%)RL	BQ(8,5%)R + laminação a frio
BQ(6%)RLR_i	BQ(6%)RL + recozimento intermediário(800°C/5min)	BQ(8,5%)RLR_i	BQ(8,5%)RL+ recozimento intermediário (800°C/5min)
BQ(6%)RLR_i10R	BQ(6%)RLR _i + Skin Pass ($\epsilon=10\%$) + recozimento final(vácuo/800°C/2horas)	BQ(8,5%)RLR_i10R	BQ(8,5%)RLR _i + Skin Pass ($\epsilon=10\%$) + recozimento final (vácuo/800°C/2horas)
BQ(6%)RLR_i20R	BQ(6%)RLR _i + Skin Pass ($\epsilon=20\%$) + recozimento final(vácuo/800°C/2horas)	BQ(8,5%)RLR_i20R	BQ(8,5%)RLR _i + Skin Pass ($\epsilon=20\%$) + recozimento final (vácuo/800°C/2horas)
BQ com TG grande proveniente de 11,3% de deformação			
Identificação	Descrição		
BQ(11,3%)R	BQ + laminação de encruamento ($\epsilon=11,3\%$) + recozimento(vácuo/800°C/8horas)		
BQ(11,3%)RL	BQ(11,3%)R + laminação a frio		
BQ(11,3%)RLR_i	BQ(11,3%)RL + recozimento intermediário(800°C/5min)		
BQ(11,3%)RLR_i10R	BQ(11,3%)RLR _i + Skin Pass($\epsilon=10\%$) + recozimento final(vácuo/800°C/2horas)		
BQ(11,3%)RLR_i20R	BQ(11,3%)RLR _i + Skin Pass($\epsilon=20\%$) + recozimento final(vácuo/800°C/2horas)		



Contour Levels: 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0

Figura 2. Orientações e escalas de intensidades das ODF's do presente trabalho

Foi utilizado para análise de textura cristalográfica um difratômetro “Shimadzu” modelo DRX-6000, equipado com goniômetro de textura, sistema de lentes policapilares e fonte de Cobalto. As ODF (funções distribuição de orientação) foram calculadas a partir de três figuras de pólo incompletas: (110), (200) e (211) com softwares da própria “Shimadzu”. Para análise magnética foi feita medidas no “Soken”, ou seja, em um *Single Sheet Tester*, este ensaio não é padronizado conforme as normas nacionais e internacionais embora seja de grande utilização na medição magnética de chapas para fins elétricos.

3 RESULTADOS

A seguir serão demonstradas as micrografias e textura de materiais de cada estágio descritos na Tabela 2.

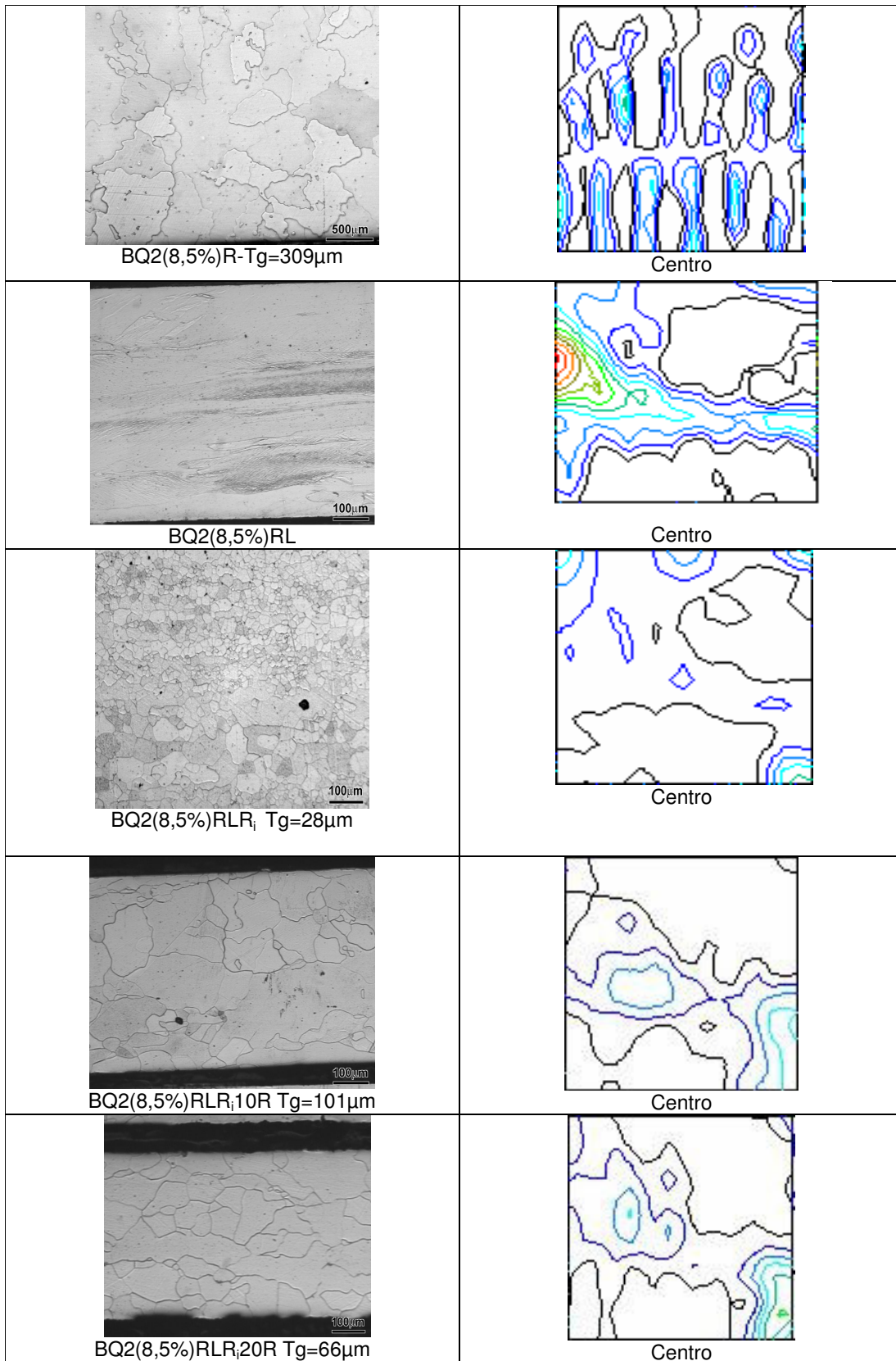


Figura 3. Micrografias e suas respectivas ODF das amostras produzidas a partir da BQ com laminação de encruamento de 8,5% e recozida a 800°C/8 horas/vácuo

A seguir serão demonstrados as texturas cristalográficas obtidas dos materiais finais provenientes dos estágios finais de cada condição de bobina a quente produzida, incluídos dois acima descritos. Na primeira linha, foram reunidos as amostras com o mesmo grau de laminação de encruamento, de 10%, e na segunda linha os com 20%. As quatro colunas referem-se a BQ's com diferentes tamanhos de grão, respectivamente 20 um, 800 um, 300 um e 180 um). Na Tabela 2, os valores de estão os valores de tamanho de grão(TG); espessura; perdas magnéticas a 1T/60Hz(P10) e 1,5T/60Hz(P15); e B50, sendo ambas medidas no "Soken":

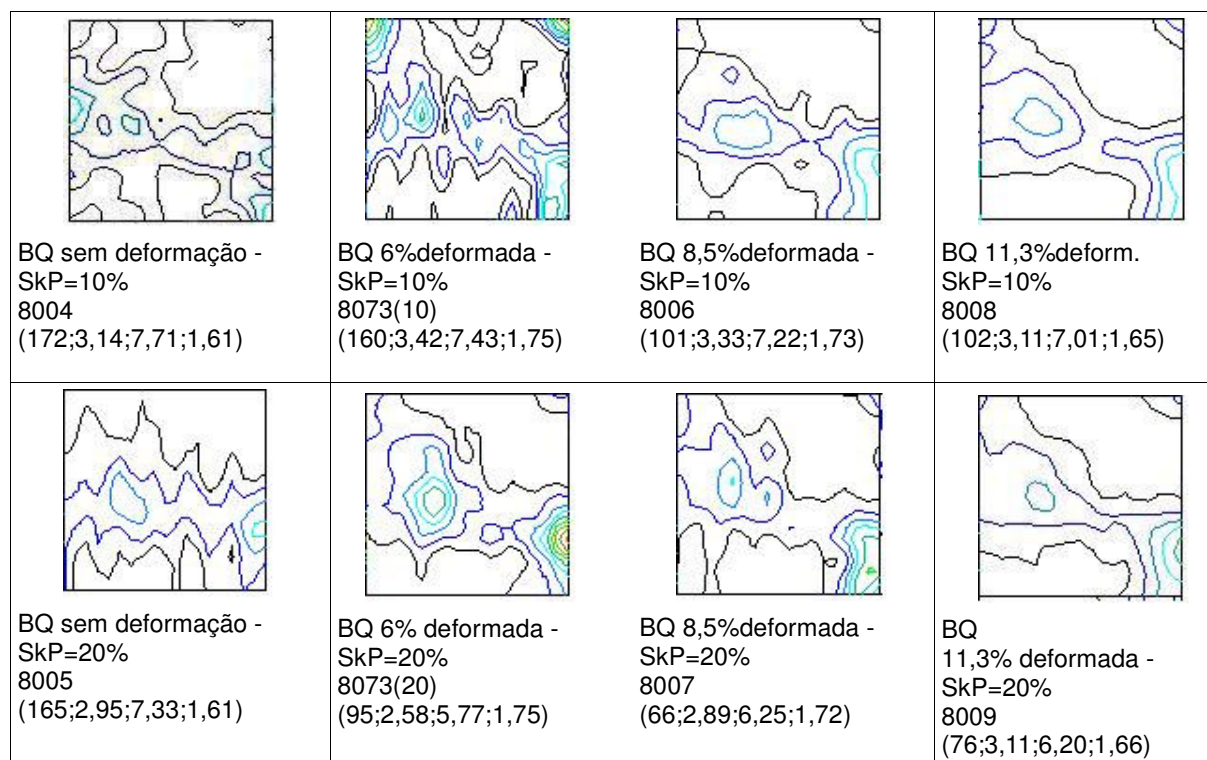


Figura 4. ODF's seções de $\phi=45^\circ$ dos materiais finais de cada BQ produzida.

Tabela 3. Valores de tamanho de grão(TG); espessura; perdas magnéticas a 1T/60Hz(P10) e 1,5T/60Hz(P15); e B50 dos materiais finais de cada BQ produzida

		BQ2 de TG pequeno		BQ2 (6%)R		BQ2 (8.5%)R		BQ2 (11.3%)R	
TG da BQ	mm	20		792		309		183	
Skin Pass		10%	20%	10%	20%	10%	20%	10%	20%
TG	mm	172	165	160	95	101	66	102	76
Espessura	mm	0,562	0,544	0,576	0,517	0,567	0,540	0,542	0,533
P10	W/kg	3.14	2.95	3.42	2.58	3.33	2.89	3.11	2.86
P15	W/kg	7.71	7.33	7.43	5.77	7.22	6.25	7.01	6.20
B50	T	1.61	1.61	1.75	1.75	1.73	1.72	1.65	1.66

4 DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a evolução da textura ao longo das etapas de fabricação a partir de uma das condições iniciais de tamanho de grão da BQ. A medida da textura

inicial foi prejudicada pelo tamanho de grão muito grande. Após laminação a frio, reforçaram-se as componentes típicas desse processo, que são as fibras gama e alfa. O recozimento desse material laminado a frio desenvolveu geralmente componentes "Goss" (com intensidade relativa igual a 5) e "cubo rodado". Os posteriores laminação de encruamento e recozimento final, apesar de promoverem grande aumento do tamanho de grão, não alteraram a textura, que manteve forte componente Goss, confirmando resultados de Castro et al.⁽⁴⁾ A variação da intensidade da laminação de encruamento entre 10% e 20%, resultou em grande diferença de tamanho de grão (entre 100 um e 66 um), sem diferenças significativas de textura, mas bastante em termos de perdas magnéticas.

A Figura 4 mostra que todas as amostras após recozimento final têm intensidades de componente Goss semelhantes, apesar das diferenças de tamanho de grão da BQ, diferentemente do observado por Castro e outros². Apesar disso, os valores de indução a 5000A/m(B50) são bem diferentes, aumentando entre 1,61 e 1,75 conforme aumenta o tamanho de grão da BQ. No entanto, em termos de variação de laminação de encruamento não ocorre variação de B50. Sabe-se que o valor de B50 é muito sensível à textura. Existe, portanto, uma contradição entre os resultados de textura e os valores de B50, pois as texturas são diferentes. É possível que a medida de B50 pelo instrumento "Soken" não seja confiável – como os valores permeabilidade deste - pois o valor do campo aplicado é muito sensível ao entreferro que se estabelece entre o jugo (*yoke*) e a amostra de material.

A tabela 3 mostra que as perdas magnéticas foram muito menores nas amostras com 20% de deformação real na laminação de encruamento do que nas de 10%, provavelmente conotando com o tamanho ótimo de grão comentado na literatura.⁽⁵⁾ Os valores de perdas magnéticas obtidas nas amostras com 20% de redução de área são significativamente menores, em alguns casos, do que os comumente encontrados nesse tipo de aços, podendo colocar em dúvida os valores encontrados.

5 CONCLUSÕES

As medidas de textura mostraram que se obteve intensidade significativa de componentes "Goss" em todas as amostras processadas, independentemente do tamanho de grão da BQ e da intensidade de deformação na laminação de encruamento. Os valores de B50 aumentaram com o tamanho de grão da BQ, mas esse resultado é contraditório com as medidas de textura, as quais variaram bastante. As perdas magnéticas foram menores nas amostras com 20% de laminação de encruamento, mas os valores são anormalmente baixos quando comparados com materiais comerciais semelhantes.

Agradecimentos

Meus agradecimentos vão ao IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo) e a CAPES para realização deste presente trabalho e anteriores, os quais direcionaram na formulação deste artigo.

REFERÊNCIAS

- 1 CASTRO, N. A. **“Controle da Textura e da Microestrutura Durante o Processo de Fabricação de Aços Elétricos Semiprocessados”**. São Paulo: EPUSP, 2007. 145p. Tese (doutorado). Pós-graduação em engenharia de materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- 2 SILVA, E.C. et al. **“Influência do tamanho de grão da bobina a quente no processamento de aços elétricos”**. CBECIMAT, p.8775-8787,2008.
- 3 CASTRO, N.A.; LANDGRAF, F.J.G.; SILVA, E.C.; YONAMINE, T. **“Efeito do tamanho de grão da bobina a quente na evolução da textura de aços elétricos semiprocessados”**. In: 63º Congresso Anual da ABM, p. 2941-2952,2008.
- 4 SILVA, E.C. et al. **“Influência da etapa de descarbonetação nas propriedades magnéticas, microestruturais e química de aços semi-processados”**. 63º Congresso Anual da ABM, p. 3474-3489,2008.
- 5 CAMPOS, M.F.; TEIXEIRA, J.C.; LANDGRAF, F.J.G. **“The optimum grain size for minimizing energy losses in iron”**. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, n.301, p.94-99,2006