

AVALIAÇÃO DO EFEITO DO REVESTIMENTO EM AÇO SÍLÍCIO (GNO) TOTALMENTE PROCESSADO SOBRE O DESEMPENHO DOS MOTORES ¹

Geraldo de Sousa Júnior²
Márcio José de Castro Justino³
Daniella Gomes Rodrigues⁴

Resumo

As empresas produzem os aços elétricos com revestimento e sem revestimento. A principal função do revestimento é promover o isolamento elétrico da chapa, de maneira que correntes parasitas não circulem de uma chapa para outra no núcleo dos aparelhos elétricos. Assim as perdas de energia seriam minimizadas melhorando o rendimento dos aparelhos. Contudo, os trabalhos que mostram os efeitos dos revestimentos na eficiência das máquinas elétricas são escassos e a questão de qual seria esta melhoria não está claramente respondida. Portanto foi feito um estudo para tentar medir os efeitos dos revestimentos nas perdas, uma vez que a preocupação em conservação de energia, leis governamentais e de comércio têm exigido um maior conhecimento sobre o assunto. Para isto utilizaram-se testes magnéticos em amostras cortadas em anéis nos aparelhos do Centro de Pesquisa. Este artigo mostra os resultados deste estudo.

Palavras-chave: Propriedades magnéticas; Motores; Isolamento de perdas.

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE COATING IN STEEL SILICON (GNO) TOTALLY PROCESSED ON THE PERFORMANCE OF THE ENGINES

Abstract

The companies produce electric steel with coating and without coating. The main function of the coating is to promote the isolation electric of the plate, thus current parasites do not circulate of a plate for another one in the nucleus of the electric devices. Thus the losses of energy would be minimized improving the income of the devices. However, the works that show the effect of coating in the efficiency of the electric machines are scarce and the question of which would be this improvement clearly is not answered. Therefore a study was made to try to measure the effect of coatings in the losses, a time that the concern in energy conservation, governmental laws and of commerce has demanded a bigger knowledge on the subject. For this used magnetic tests in samples cut in rings in the devices of the Center of Research. This article shows the results of this study.

Key words: Magnetic properties; Motor; Isolation of losses

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Estudante de Graduação de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UnilesteMG.*

³ *Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.*

⁴ *Estudante de Graduação de Engenharia de Materiais do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UnilesteMG.*

1 INTRODUÇÃO

A limitação de perdas por correntes parasitas para valores apropriados requer aços elétricos com resistividade adequada, chapas suficientemente finas e eficiente isolamento elétrica entre elas. Correntes parasitas fluirão não unicamente dentro das chapas, mas também dentro do núcleo como uma unidade, através das superfícies das chapas. A Figura 1 mostra os dois tipos de correntes parasitas estabelecidas pela voltagem induzida. A utilização de chapas no núcleo magnético não é efetiva para evitar corrente circulando dentro do núcleo inteiro a menos que as superfícies das chapas sejam adequadamente revestidas e que as rebarbas sejam pequenas.

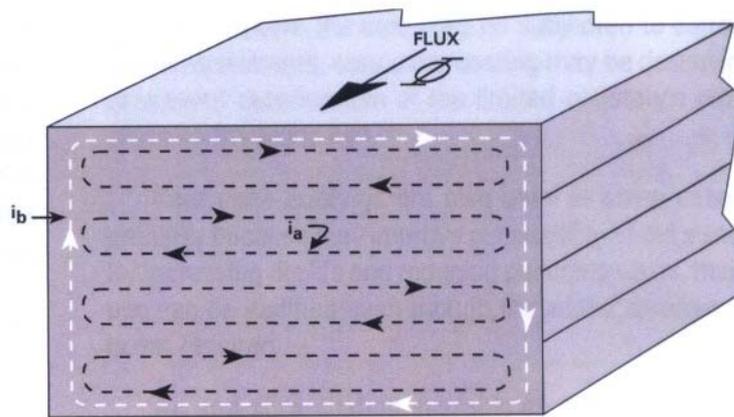


Figura 1 – Correntes parasitas no núcleo. Os valores de i_a e i_b dependem do fluxo magnético e isolamento entre as chapas.

A resistência da isolação da superfície da chapa pode ser considerada completamente adequada quando as perdas são limitadas para uma pequena fração, usualmente de cerca de 1 a 2% da perda total. Qual magnitude da isolação é adequada e quais revestimentos poderiam ser usados são questões complexas. As respostas dependem não unicamente da eficiência desejada para o aparelho, mas também de numerosos fatores de fabricação e projeto, pois cada um afeta a magnitude de perda interlamelar.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para simular os estatores dos motores optou-se por utilizar anéis de aço silício P920P com diâmetro externo de 100 mm e interno de 80 mm, preparados no laboratório de estampagem da Gerência do Centro de Pesquisa da Acesita. A realização dos testes magnéticos foi realizada no Laboratório de Ensaio Magnéticos da Gerência do Centro de Pesquisa da Acesita, utilizando Medidor de Propriedades Magnéticas (Brockhaus MPG 100 D). Para aplicar o campo magnético (B) utilizou-se um enrolamento de fio de cobre envernizado de 0,84 mm de diâmetro (20AWG) com 80 espiras no primário e 80 no secundário sobrepostas no anel de aço, o número de espiras foi determinado após a realização de vários testes quando se obteve um bom fator de forma. O conjunto de amostras para a realização de testes é mostrado na Figura 2.



Figura 2 – Montagem dos anéis para realização dos testes magnéticos

As experiências realizadas foram direcionadas no sentido de se verificar a influência de um revestimento isolante nas perdas magnéticas. Para isto foram realizados testes comparativos entre o material C0 e o material com um tipo de isolante elétrico.

1. Utilização de isolamento dos anéis de aço com anéis de papel de 0,35 mm de espessura.
2. Utilização de isolamento dos anéis de aço com verniz em *spray*.

Apesar das experiências parecerem simples, a principal dificuldade encontrada foi a introdução de tensões nos anéis por manuseio (montagem e desmontagem do enrolamento). Nas experiências citadas os anéis foram submetidos praticamente só a tensões de manuseio, para a desmontagem do enrolamento para introdução do isolamento (papel ou verniz em *spray*).

Os testes foram importantes, porque mostraram claramente o efeito de um revestimento isolante nas perdas nos testes com anéis, como mostrado na figura 3. Nestas experiências, a seqüência dos testes foi as seguintes:

1. Inicialmente os anéis de aço foram testados sem nenhum tipo de revestimento (C0),
2. Posteriormente foram colocados os anéis de papel de 0,35 mm entre aos anéis de aço e o teste magnético foi realizado,
3. Os anéis de papel foram retirados e os anéis de aço foram revestidos com verniz em *spray*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

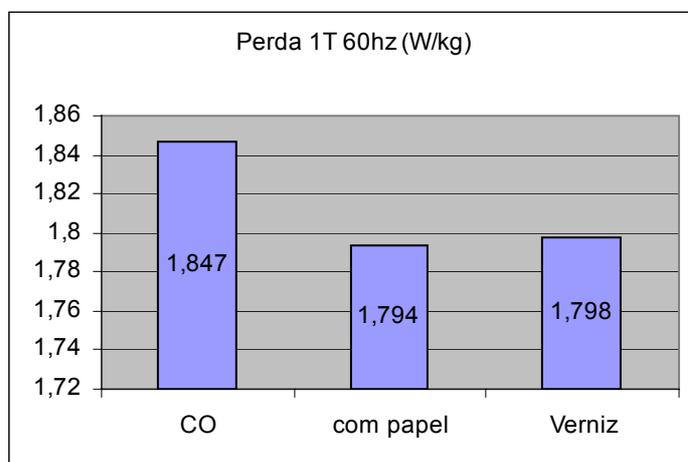


Figura 3 - Teste com anéis isolados com papel e verniz sem pressão.

Observou-se que:

1. A perda dos anéis de C0 sem nenhum isolamento foram as maiores,
2. A diferença de perda dos anéis isolados com papel para o teste C0 foi de aproximadamente 3%. Isto quer dizer que, introdução de um isolamento total (teste Franklin zero) permite uma melhoria da perda a 1 T e 60 Hz de no máximo 3%.

4 CONCLUSÃO

Foi desenvolvido, com sucesso, um teste magnético utilizando um conjunto de anéis que permite simular os estatores dos motores. No entanto os resultados dos testes são muito sensíveis às tensões introduzidas no material pelo manuseio e preparação das amostras

Nos testes comparativos de anéis revestidos e não revestidos os resultados foram coerentes. Nos testes citados no item anterior, observou-se uma diminuição da perda a 1T e 60 Hz de até 3% quando os anéis apresentam um isolamento total se comparados aos anéis C0. Portanto, existe um efeito benéfico do revestimento nas perdas do núcleo de um aparelho elétrico. No entanto, devido às características construtivas de cada equipamento elétrico, o efeito dos revestimentos deve ser avaliado, também, pelos clientes em testes comparativos de rendimento de seus aparelhos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Acesita por possibilitar a realização desta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

- 1 LANDGRAF, F. J. G. **Aços para fins elétricos**. São Paulo, IPT, 1998 /Apostila do curso organizado pelo laboratório de metalurgia do pó e materiais magnéticos do IPT/.
- 2 Selection of Electrical Steels for Magnetic Cores – AK Steel Corporation – 2000.

QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS CARBONOSOS PRESENTES NO PÓ DE BALÃO DE ALTO-FORNO¹

Vanessa Modelski Schatkoski²

André Machado³

André Mexias⁴

Eduardo Osório⁵

Antonio Cezar Faria Vilela⁶

Resumo

A injeção de carvão pulverizado (PCI) nas ventaneiras do alto-forno (AF) é a técnica mais utilizada para diminuir o consumo de coque no AF. Um dos fatores limitantes para altas taxas de injeção é a formação de “char” incombusto na zona das ventaneiras, o qual percorre um caminho junto aos gases no AF. As partículas presentes nos gases de saída do AF são constituídas por “char”, óxidos metálicos e outros materiais carbonosos (coque, e em algumas situações, carvão não-pirolisado). É necessário estabelecer uma metodologia capaz de diferenciar os materiais carbonosos e conseqüentemente avaliar a eficiência da combustão dos carvões injetados. A técnica de difração de raios-X (DRX) permite determinar a dimensão dos cristalitos (Lc) dos materiais carbonosos e identificar as diferentes estruturas presentes. O objetivo deste trabalho é analisar e quantificar os componentes carbonosos existentes no pó de balão de AF utilizando a técnica de DRX. Para isso, foi preparada uma curva de calibração a partir da análise dos Lc's de amostras de misturas com diferentes proporções de char e coque. Posteriormente, uma amostra de pó de balão recolhida no AF de uma usina brasileira foi analisada quanto ao Lc. Através da comparação do Lc da amostra de pó com a curva de calibração é possível distinguir quantitativamente a proporção de char presente no pó de balão e desta forma monitorar a operação do processo PCI.

Palavras-chave: Char; Difração de raios-X; PCI; Curva de calibração.

QUANTIFICATION OF CARBONACEOUS MATERIALS IN THE BLAST FURNACE OFFGAS

Abstract

The pulverized coal injection in the blast furnace tuyères is the most utilized techniques to minimizing coke consumption. The presence of a large amount of unburnt char in the blast furnace is one of the limiting factors to the injection rate increase. Therefore, a practical method should be able to distinguish carbonaceous materials in order to evaluate the injected coal combustibility efficiency. The aim of this work is to analyze and to quantify the solid particles in the BF off gas (flue dust), using X- Ray diffraction technique (XRD). For this, a calibration curve was prepared by using the Lc's values from several mixtures of char and coke. The XRD was utilized to measure the sample crystallites dimensions (Lc). Later, a flue dust sample obtained from Brazilian steelworks blast furnace was also analyzed. Based on obtained results, there was possible to quantitatively determine the char proportion in the flue dust. These results can be used as one of the indicators to monitor the PCI performance in operating BF.

Key words: Char; X-Ray diffraction; Pulverized coal injection; Calibration curve.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Graduanda em Engenharia Metalúrgica pela UFRGS, Bolsista de Iniciação Científica do Laboratório de Siderurgia - LASID / Centro de Tecnologia / UFRGS.

³ Físico, Mestrando do Laboratório de Siderurgia - LASID / Centro de Tecnologia / UFRGS.

⁴ Prof. Dr., Instituto de Geociências / UFRGS.

⁵ Prof. Dr., Laboratório de Siderurgia - LASID / Centro de Tecnologia / UFRGS.

⁶ Prof. Dr. -Ing, Coordenador do Laboratório de Siderurgia - LASID / Centro de Tecnologia / UFRGS.

1 INTRODUÇÃO

A Injeção de carvão pulverizado (PCI) nas ventaneiras do alto-forno (AF) é umas das técnicas mais utilizadas para diminuir o consumo de coque no AF. A eficiência da combustão dos carvões injetados depende das condições do AF e das características dos carvões injetados. Uma das limitações para maiores taxas de injeção de carvão é a geração de char (resíduo de carvão parcialmente queimado) na zona de combustão, o qual percorre um caminho ascendente ao dos gases no AF afetando a distribuição do fluxo de gás e a descida da carga incandescente no AF.

A presença de altos teores de char nas amostras sólidas recolhidas do gás de saída do alto-forno é resultado da injeção de um carvão pulverizado com combustibilidade inadequada e de uma operação instável do forno. Assim, o conhecimento da proporção de char que sai do alto-forno pode ajudar na seleção do tipo de carvão a ser injetado e na otimização da prática da injeção de carvão pulverizado no alto-forno.⁽¹⁾

Os particulados contidos nos gases de saída do AF são coletados no sistema de limpeza denominado balão e são constituídos basicamente de óxidos metálicos e materiais carbonosos (coque, char e, em alguns casos, carvão não-pirolisado). A identificação das partículas carbonosas encontradas no pó do AF não é simples. Primeiramente, sendo a quantidade de char encontrado no pó relativamente pequena, é essencial estabelecer um procedimento analítico padrão que seja capaz de efetuar comparações ao injetar diferentes tipos de carvão e/ou variar as condições de operação do alto-forno. Em segundo lugar, pequenas quantidades de char estão misturadas a grandes quantidades de finos de coque na amostra de pó. Como ambos são materiais carbonosos, o método deve possibilitar distinguir claramente o char do coque para obter resultados significativos.⁽²⁾

O uso somente do microscópio ótico para identificar as partículas carbonosas de char e de coque pode levar a resultados ambíguos. A principal dificuldade para uma análise quantitativa destas amostras está relacionada com a possibilidade de algumas destas partículas estarem recobertas com cinza e/ou álcalis e cloretos precipitados.

Estas dificuldades podem ser superadas com o auxílio da técnica de difração de raios-X, pois seu feixe é altamente energético, podendo penetrar nas partículas e identificá-las mesmo que estejam recobertas por cinza.⁽²⁾ Além disso, a difração de raios-X possibilita também a identificação de partículas com tamanho na ordem de nanômetros, enquanto que a microscopia ótica identifica somente as maiores que um micron.⁽³⁾

Uso da Difração de Raios-X⁽¹⁾

O empilhamento das lamelas formadas pelos átomos de carbono nos materiais carbonosos é do tipo hexagonal (Figura 1), sendo estas lamelas unidas por forças de Van der Waals. Os principais constituintes dos materiais carbonosos podem ser divididos em: estruturas mais ordenadas, ou grafíticas, onde há um alto grau de anisotropia, e menos ordenadas onde geralmente a estrutura é isotrópica. O grau de ordenação da estrutura pode ser alterado devido à ação da temperatura (Figura 2), do tempo ou outro tipo de acréscimo de energia. Assim, as estruturas do carvão (mais isotrópico), do char e do coque (mais anisotrópico) podem ser colocadas, nesta seqüência, em ordem crescente de ordenamento.

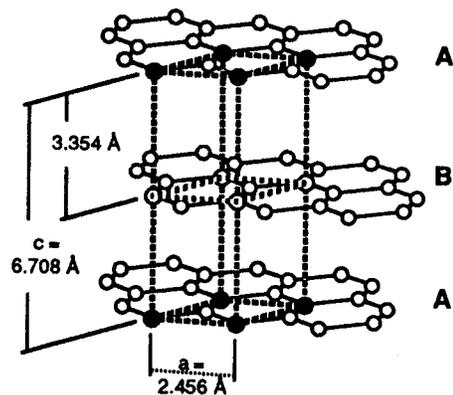


Figura 1. Estrutura hexagonal do grafite.

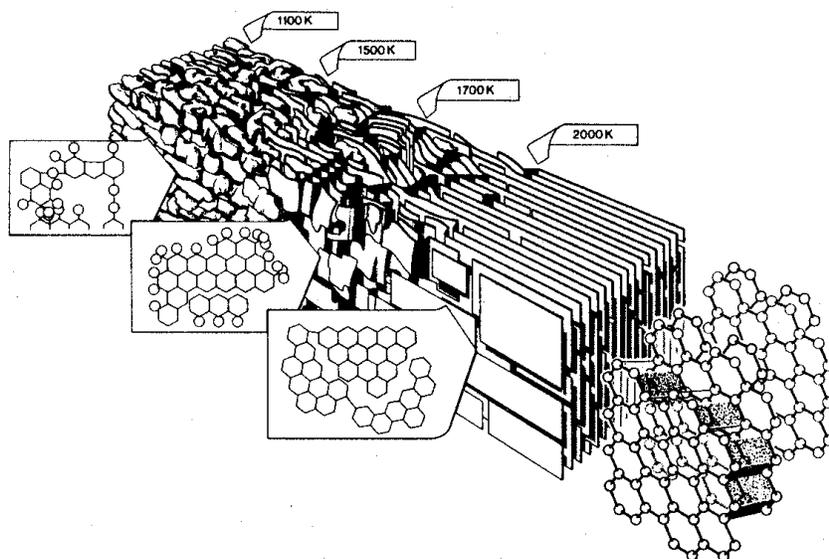


Figura 2 – Processo de carbonização (ordenação da estrutura) com o aumento da temperatura, segundo modelo Marsh-Griffiths.

A técnica de difração de raios-X (DRX) fornece uma quantificação do ordenamento do material carbonoso analisado e pode ser utilizada como um indicativo do tamanho dos cristalitos, os quais caracterizam o ordenamento da estrutura. A dimensão dos cristalitos - altura (L_c) do empilhamento – pode ser usada para diferenciar os materiais carbonosos, por exemplo, o char do coque. Quanto maior for o grau de empacotamento das lamelas (Figura 3), maior será a altura do cristalito (L_c) e mais ordenada será a estrutura.

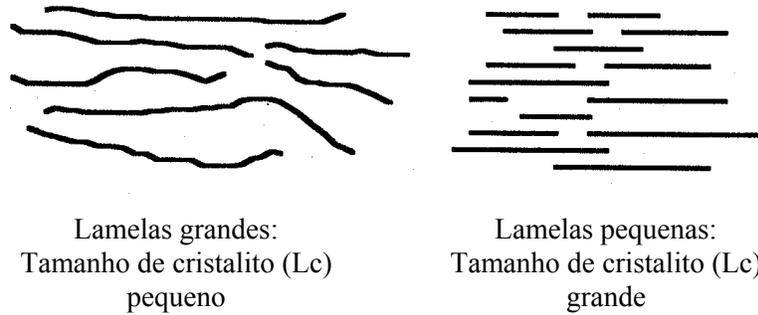


Figura 3. Desenho esquemático bidimensional das lamelas carbonosas mostrando diferenças nos alinhamentos relativos.

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar e quantificar os componentes carbonosos (coque, char) presentes no pó de balão de alto-forno utilizando a técnica de difração de raio-X. Espera-se, desta forma poder monitorar e aperfeiçoar a operação do processo do PCI.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram estudadas amostras de char, coque e misturas com proporções bem definidas das mesmas (Tabela 1). Uma amostra de pó de balão de alto-forno de uma usina brasileira também foi analisada para fins comparativos. Estas amostras foram submetidas à análise por difração de raios-X.

Para calcular as proporções de char/coque presentes na amostra de pó do alto-forno através da DRX, foi necessária a construção de uma curva de calibração⁽⁴⁾. A partir da determinação dos valores dos Lc's das amostras com proporções determinadas de char e coque, e dos valores da amostra de pó, foi possível determinar a proporção de char presente nessa amostra coletada no gás de saída do alto-forno.

Tabela 1. Composição das amostras.

Amostra		Quantidade de char na amostra (%)	Quantidade de coque na amostra (%)
Coque		-	100
Char		100	-
Misturas	A	20	80
	B	40	60
	C	60	40

2.1 Difração de Raios-X

A difração de raios-X foi utilizada para determinar a dimensão dos cristalitos (Lc) dos materiais carbonosos, possibilitando a identificação das partículas de char e de coque. As análises de difração por raios-X foram realizadas em um difratômetro utilizando um tubo de radiação Cu K α e as curvas obtidas nestas análises foram ajustadas segundo um perfil do tipo Gaussiano. O valor Lc foi obtido a partir da Equação 1 de Scherrer.⁽⁵⁾

$$L_c = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

L_c = altura do cristalito (dimensão do empilhamento das camadas do retículo), Å

λ = comprimento de onda dos raios-X incidente, neste caso o do Cu (1,5418 Å)

β = largura completa a meia-altura na intensidade máxima do pico (002), em radianos

θ = ângulo de Bragg do pico (002), em graus

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DRX das misturas

As Figuras 4 e 5 mostram os difratogramas das amostras de coque e char, respectivamente.

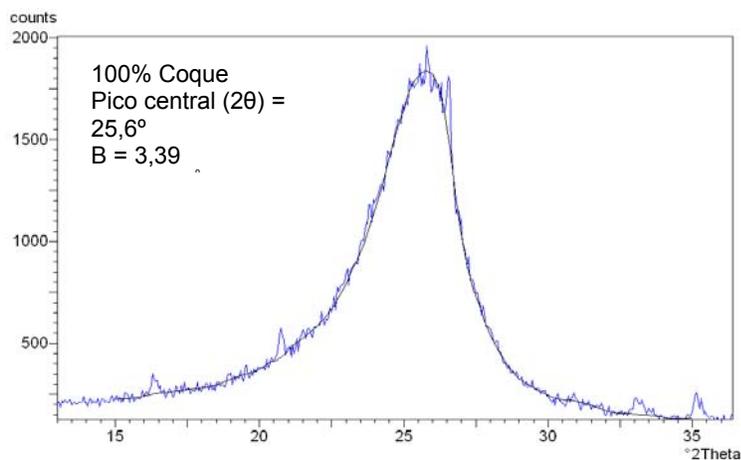


Figura 4. Difratograma do Coque.

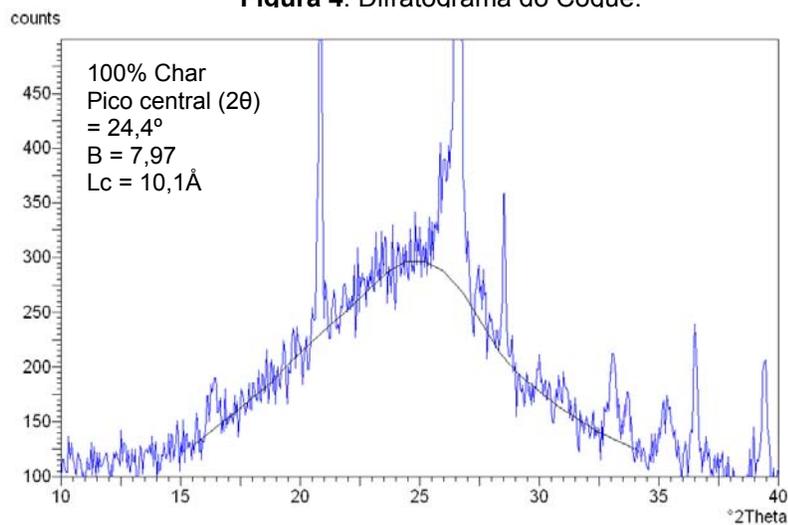


Figura 5. Difratograma do Char.

O perfil de difração para a amostra de coque (Figura 4) apresentou o pico de maior intensidade (002) mais estreito o valor Lc mais alto (23,8Å). Comparando este perfil com o obtido para a amostra de char (Figura 5), no qual o pico (002) é mais largo e o valor do Lc mais baixo (10,1Å), pode-se dizer que a estrutura do coque é mais ordenada.

As Figuras 6, 7 e 8 mostram os difratogramas das misturas de coque e char.

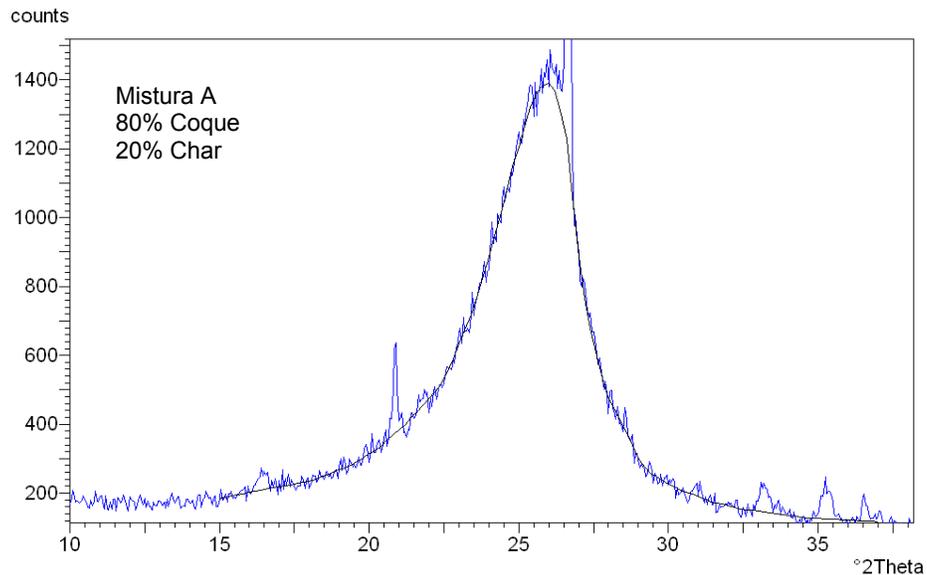


Figura 6. Difratograma da mistura A (80% coque + 20% char).

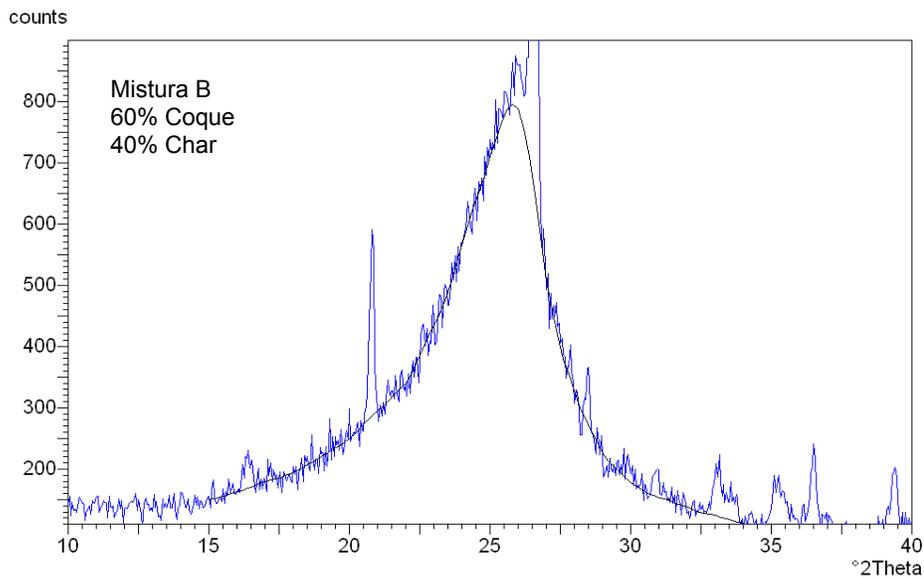


Figura 7. Difratograma da mistura B (60% coque + 40% char).

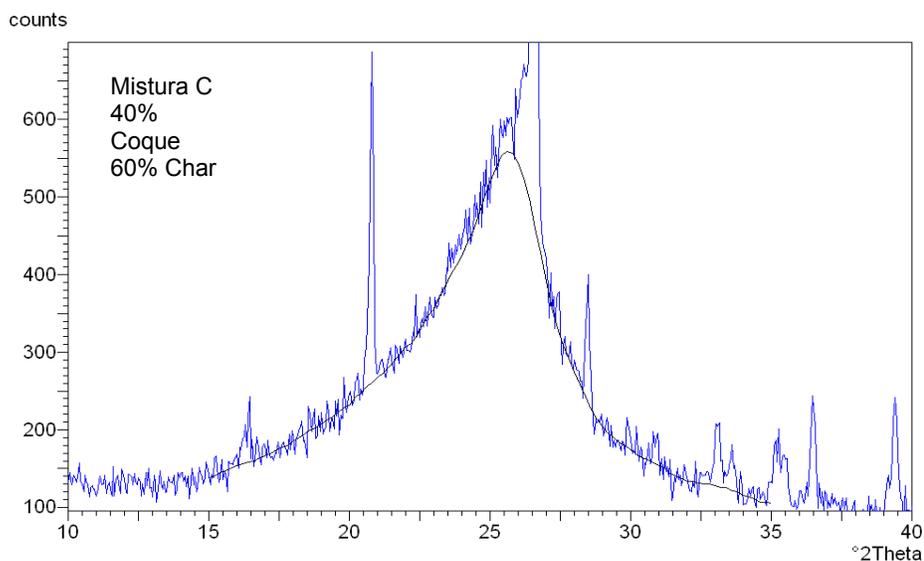


Figura 8. Difratograma da mistura C (40% coque + 60% char).

A Tabela 2 apresenta os valores de Lc obtidos para as misturas de char e coque.

Tabela 2. Valores obtidos do Lc

Amostra	Quantidade de char na amostra (%)	Quantidade de coque na amostra (%)	2 θ (em graus)	B	Lc(Å)	
Coque	-	100	25,6	3,39	23,8	
Char	100	-	24,4	7,97	10,1	
Misturas	A	20	80	25,8	3,63	22,2
	B	40	60	25,5	4,02	20,1
	C	60	40	25,5	4,71	17,1

Na Tabela 2 observa-se que para as misturas com maior quantidade coque os valores de Lc são mais elevados. Já para misturas em que há maior quantidade de char o valor do Lc obtido é mais baixo.

3.2 Curva de Calibração

Através dos valores dos Lc's obtidos das misturas foi possível a construção da curva de calibração (Figura 9). A curva relaciona a proporção de char na mistura com o os respectivos valores de Lc obtidos.

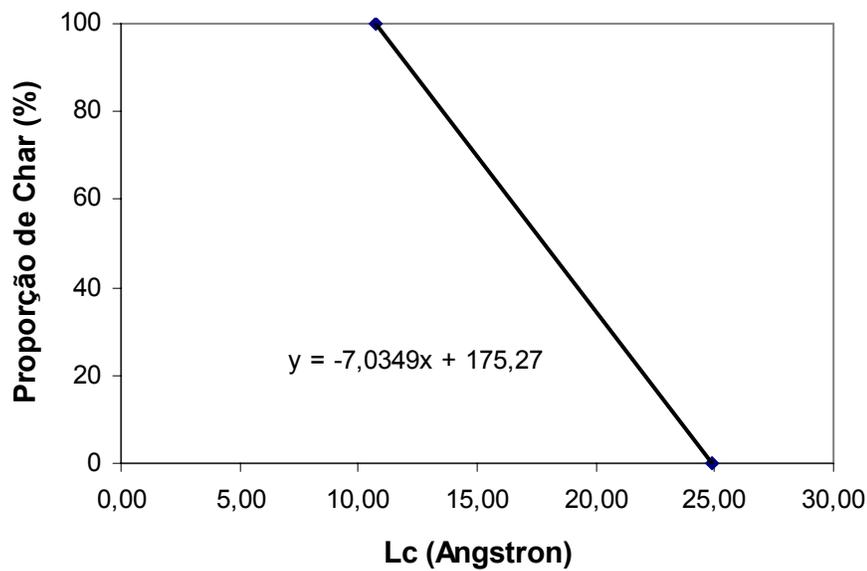


Figura 9. Curva de calibração.

3.3 Pó de Balão

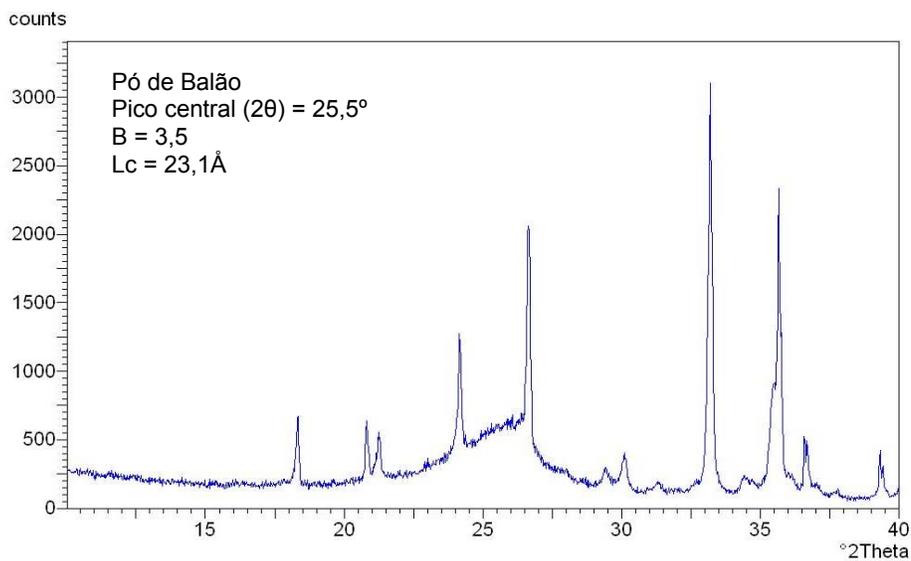


Figura 10. Difratograma do pó de balão.

O difratograma da amostra de pó (Figura 10) possui o pico (002) do carbono largo ($B = 3,50$) e o valor do L_c elevado ($23,1\text{Å}$). Comparando o valor do L_c obtido a partir da difração de raio-X da amostra de pó de balão com a curva de calibração, pode-se dizer que há a predominância de coque na amostra de pó analisada.

4 CONTINUAÇÃO DO TRABALHO

Nos difratogramas obtidos pode-se observar que o pico da sílica (SiO_2) está localizado próximo ao pico que caracteriza a matéria orgânica. Este fato deve ser considerado no cálculo do Lc, pois a presença da sílica ocasiona o aumento nos valores do Lc de cada mistura. No prosseguimento deste trabalho o refinamento de Rietveld será utilizado para anular o efeito da sílica nos cálculos do Lc.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ressaltam a importância do uso da difração de raios-X em estudos relacionados à eficiência da combustão do carvão injetado no alto-forno.

Com base nos resultados obtidos, pode-se considerar as seguintes conclusões:

- O perfil da difração do coque apresentou o pico de maior intensidade (002) mais estreito e o valor de Lc mais alto (23,8Å - Figura 4), ou seja, comparando seu Lc com o da amostra de char (10,1Å - Figura 5), pode-se dizer que a estrutura do coque é a mais ordenada.
- Existe uma relação linear na curva de calibração (Figura 9), portanto pode ser utilizada para a quantificação do teor de char presente na pó de balão do AF.
- O valor do Lc da amostra de pó de balão (23,1Å) possui um valor próximo ao da amostra de coque (23,8 Å) o que indica o predomínio de partículas de coque na amostra.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq.

REFERÊNCIAS

- 1 RIBAS, M. A., OSÓRIO, E., VILELA, A.C.F. Análise das proporções de char e finos de coque encontrados nos resíduos sólidos captados no gás de saída do alto-forno. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DA ABM, 31., Santos, 2000. Anais. São Paulo: ABM, 2000. p. 407-416.
- 2 SAHAJWALLA, V., KONG, C.H., CHAUBAL, P.C., VALIA, H.S. Determination of proportions of coal char and coke fines in the off-gas blast furnace samples. In: IRONMAKING CONFERENCE, 59, 2000. Proceedings. Warrendale: ISS, 2000, p. 305-311.
- 3 UNSWORTH, J. F.; ROBERTS, P. T. The Influence of Organic Components on Combustion Performance. Coal Science and Technology, Amsterdam, v. 19, p. 75-92, 1991.
- 4 SAHAJWALLA, V., GUPTA, S.K., AL-OMARI, Y., SAHA-CHAUDHURY, N., RORICK, G.H, CHAUBAL, P., BURGO, J., BEST, M., HYLE, F. Combustion characteristics of pulverized coals and char released in blast furnace off-gas. In: IRONMAKING CONFERENCE, 62, 2003. Proceedings. Warrendale: ISS, 2003, p. 775-785.
- 5 KLUG, H. P.; ALEXANDER, L. E. X-Ray Diffraction Procedures. John Wiley & Sons, 1954, p.656.