

A influência do carvão mineral nas características do clínquer de cimento Portland (*)

YUSHIRO KIHARA

Associação Brasileira de Cimento Portland e Instituto de Geociências — USP
Av. Torres de Oliveira, 76, Jaguaré
05347 — São Paulo — SP



ABSTRACT

Influence of Mineral Coal in Portland Cement Clinker Characteristics

The necessity of reducing the fuel oil consumption and its consequent replacement by coal in cement industry had a strong influence over the behavior of rotary kiln running as well as over the clinker composition and quality. Industrial clinkers obtained under varied coal substitution rates were studied by optical microscopy in order to characterize the influence this substitution has in the clinker structure and quality. When using coal as a fuel it is very important to take into account besides the ash content and composition the coal moisture, its granulometry and the firing system, which influence greatly the production process and sintering reactions. The inadequate control of these parameters is responsible for the formation or instability of coating low durability of refractory bricks, changes in the inflammability inhomogeneity and the modifications in clinker composition.

INTRODUÇÃO

A necessidade de redução do óleo combustível e a sua substituição crescente pelo carvão mineral na indústria do cimento tem influenciado tanto o comportamento da marcha do forno, como a composição e qualidade do clínquer. Pressionada pela crise de combustíveis, a indústria de cimento relutou em utilizar o carvão mineral devido à falta de experiência e à disponibilidade de investimentos e instalações para a preparação e queima do carvão. As primeiras experiências de queima com carvão nacional que se tem registro na indústria de cimento, foram realizadas em 1955, em São Paulo, na Fábrica de Cimento Maringá, com o carvão de Cambuí (PE) (1). O primeiro uso efetivo do carvão mineral na fabricação de cimento foi na fábrica de Morretes, próximo a Porto Alegre (RS) (1), com a inauguração das instalações do sistema de queima do carvão, em 1976. O carvão utilizado foi da mina de Leão (RS) e a qualidade do cimento obtido não apresentou variações significativas, além de uma tendência à queda nas resistências mecânicas, em função da assimilação das cinzas no clínquer.

O programa de substituição do óleo combustível pelo carvão mineral, tomou um forte impulso, em 1979, com a assinatura do Protocolo de Cimento, firmado entre o Governo e o Sindicato Nacional da Indústria de Extração do Carvão e o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC). Atualmente, a indústria de cimento é a maior consumidora de carvão nacional, superando o setor de termelétricidade, maior consumidor tradicional. O índice de substituição do óleo combustível, em 1983, na indústria de

(*) Trabalho apresentado ao 29.º Congresso Brasileiro de Cerâmica, em Criciúma-SC, abril de 1985.

cimento foi de 70% em consumo calorífico. Dentre os combustíveis alternativos, o carvão mineral representa o principal, com índice de substituição de 47,5% e um consumo de 1870260 t (2).

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da influência do carvão mineral brasileiro nas características do clínquer de cimento portland.

O CARVÃO MINERAL UTILIZADO COMO COMBUSTÍVEL

Os carvões minerais brasileiros utilizados como combustível são procedentes das minas localizadas ao longo da borda leste da Bacia do Paraná. Ocorrem sob a forma de camadas pouco espessas, intercaladas com folhelhos, argilitos siltitos e arenitos da Formação Rio Bonito, do Grupo Tubarão, de idade Permo-Carbonífera (3). É este modo de ocorrência das camadas de carvão que dificulta o seu beneficiamento e condiciona o alto teor de cinzas. Os carvões minerais nacionais caracterizam-se por um alto teor de cinzas e baixo poder calorífico, em relação aos carvões usualmente utilizados nos outros países. Apresentam regionalmente características distintas, relacionadas à procedência e à composição mineralógica.

Os carvões do Rio Grande do Sul caracterizam-se, de um modo geral, pelo mais alto teor de voláteis, mais baixo poder calorífico, menor conteúdo de carbono fixo e mais baixo teor de enxofre que os de Santa Catarina (4,5). As cinzas apresentam composição sílico-aluminosa, com proporções secundárias de ferro, cálcio, magnésio e álcalis. Elementos como titânio, fósforo, manganês, estrôncio, vanádio, cloro e terras raras, estão presentes na forma de traços. A composição química média de diversas cinzas de carvão é apresentada na Tabela I. Necessário se faz mencionar que os valores apresentados expressam os teores médios das distintas cinzas, uma vez que podem apresentar grandes variações quanto à composição. Essa variação se deve à natureza das rochas sedimentares encaixantes associadas ao carvão.

CARACTERÍSTICAS DO CLÍNQUER CALCINADO COM CARVÃO

Do ponto de vista operacional, a queima do carvão é muito mais complexa que a queima de combustível líquido (óleo) ou gasoso (gás). São necessários investimentos e treinamentos complementares para a estocagem, preparação, queima, segurança e controle de qualidade do carvão. Desde o início do uso do carvão, verificou-se que sem uma preparação e controle adequados, a marcha do forno tornava-se irregular, com uma queda na durabilidade do refratário e na qualidade do clínquer. Um clínquer de cimento Portland de qualidade é aquele fabricado a partir de matérias-primas devidamente preparadas e dosadas, de modo a garantir, durante as reações de clinquerização, a formação de minerais hidráulicos (C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF), dentro das características projetadas, sem a formação de feições microestruturais características de moagem ou homogeneização insuficiente das matérias-primas. As

TABELA I - Análise química de cinzas de carvão.

Procedência	Candiota (RS)	Charqueadas (RS)	Leão (RS)	Tubarão (SC)
Elementos				
SiO ₂	70,0	63,1	52,4	49,2
Al ₂ O ₃	20,0	23,0	23,7	25,5
CaO	0,6	3,1	2,4	2,2
MgO	0,5	0,6	0,9	2,5
Fe ₂ O ₃	4,9	2,9	14,1	9,0
TiO ₂	0,9	1,2	1,2	2,5
MnO ₂	0,1	0,1	0,1	4,5
K ₂ O	1,4	1,5	0,7	2,6
Na ₂ O	0,1	1,1	0,4	0,2
P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,2	0,1
SO ₃	0,2	—	2,0	—
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3,50	2,74	2,21	1,93
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃ (MA)	4,08	7,93	1,68	2,83
SiO ₂ (MS)	2,81	2,44	1,39	1,43
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃				

Fonte: CAEEB

condições de queima e resfriamento devem ser tais que garantam a estabilidade e reatividade dos minerais formados.

Quando um carvão com alto teor de cinzas é utilizado para a fabricação de um clínquer, grande parte das cinzas é incorporada durante a sua formação no forno, influenciando tanto a constituição químico-mineralógica, quanto a microestrutura do clínquer. Além das cinzas, é importante considerar fatores como a umidade, granulometria e o sistema de queima do carvão, que somados à influência química das cinzas, atuam de maneira significativa na marcha dos fornos nas reações de clinquerização e nas características do clínquer produzido. As cinzas fundidas têm um efeito umectante muito pronunciado sobre o clínquer, penetrando rapidamente pelos vazios e fissuras em seu interior (6). São ávidas pelo CaO e reagem com C_3S e cal livre do clínquer. A reação é, no início, muito rápida no contato com o clínquer e depois, avança progressivamente para o seu interior, desenvolvendo zonas características de reação, constituídas principalmente de C_2S (6). Nas regiões mais ricas em CaO formam belita (C_2S) e nas regiões mais pobres formam, gehlenita ($Ca_2Al_2SiO_7$) e mulita (Al_2SiO_5) ou seu polimorfo.

Nos fornos de via seca, quando as cinzas são carregadas além da zona de clinquerização, ocorrerá na zona de granulação, uma boa difusão das mesmas com a farinha, sem prejuízos à microestrutura do clínquer (Figura 1), além da modificação na sua composição (7,8). Por outro lado, efeitos desfavoráveis ocorrem quando as cinzas são depositadas nos grãos de clínqueres (9). (Figura 2) ou quando o carvão se apresenta com granulometria insatisfatória (7) que não permita a total assimilação e difusão das cinzas (Figuras 3 a 5). Como consequência, haverá a formação de zonas segregadas, de natureza silicática, além da corrosão e decomposição do C_3S formado (Figuras 6 e 7).

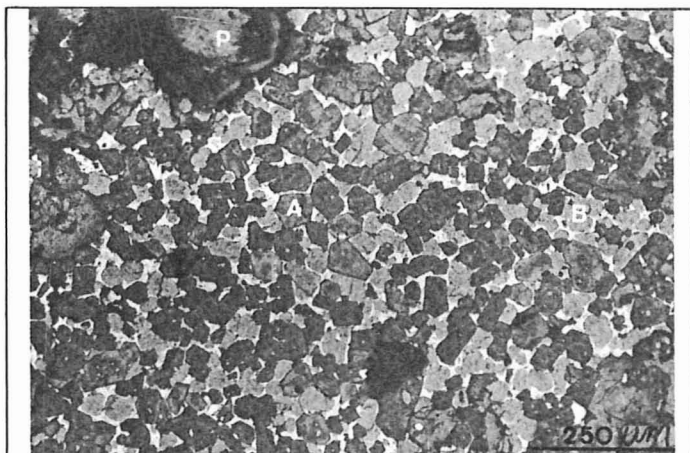


FIGURA 1 — Clínquer calcinado com 100% de carvão micropulverizado, observando-se uma assimilação adequada das cinzas pela distribuição homogênea dos cristais de C_3S (A) e C_2S (B), P = poro.

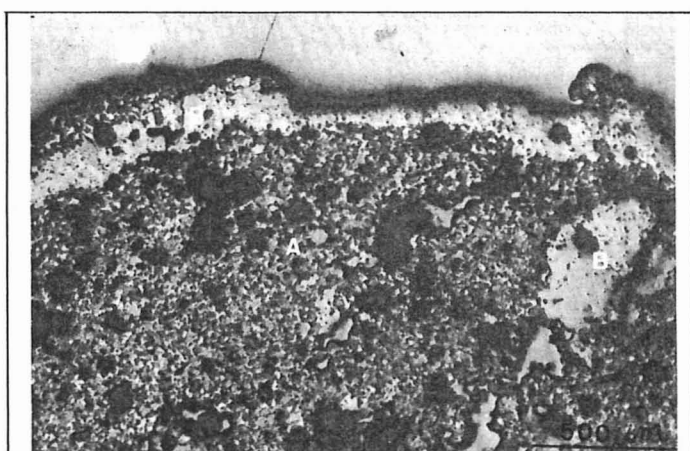


FIGURA 2 — Zona de C_2S (B) decorrente da precipitação de partículas de cinza na superfície do clínquer.

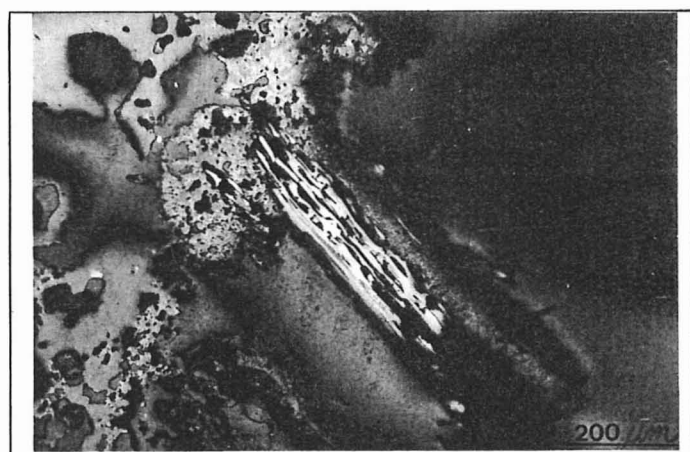


FIGURA 3 — Fragmento de carvão (R) incorporado ao clínquer. As regiões próximas ao carvão apresentam-se ricas em C_2S digitado, fase metálica arredondada e com coloração acastanhada, sugerindo condições redutoras.

Clínqueres adequadamente controladas e calcinadas, obtidas a partir da queima pelo maçarico de carvão micropulverizado, não apresentam, via de regra, feições microscópicas que evidenciam heterogeneidades mineralógicas, decorrentes de uma assimilação inadequada das cinzas.

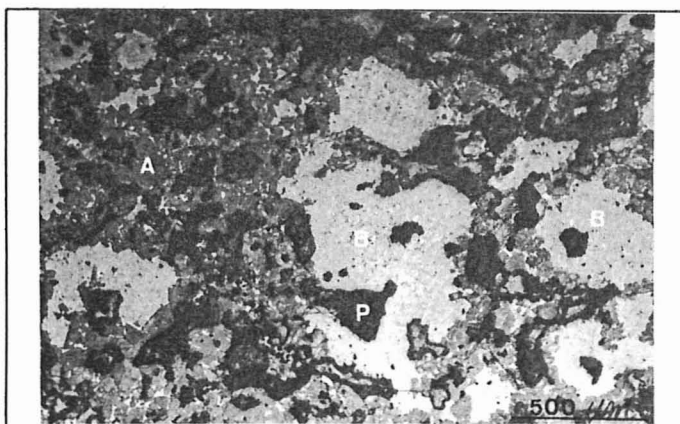


FIGURA 4 — Clínquer calcinado com 100% de carvão, sendo parte granulada e com alto teor de cinzas ($\approx 50\%$). Observa-se feições heterogêneas, constituídas de zonas de C_2S (B), similares à moagem insatisfatória de grãos silicosos.

Apresentam as seguintes características: a) geralmente compactos, com boa distribuição dos poros e mobilidade facilitada; b) coloração cinza-preto, às vezes acastanhada; c) cristais de C_3S e C_2S distribuídas regularmente sem a formação de zonas decorrentes da ação de cinzas (Figura 1). Excepcionalmente, são observadas em alguns clínqueres, zonas alongadas de C_2S , principalmente na superfície dos grãos, evidenciando uma precipitação de cinzas, após à granulação do clínquer; d) cristais de C_3S com tendência a serem mais desenvolvidos que os formados sem carvão, indicando condições de chama mais longa; e e) relação C_3S/C_2S e teor de cal livre com tendências a serem mais elevados que nos clínqueres anteriormente produzidos sem carvão, decorrentes, principalmente, da utilização de um maior fator de saturação de cal, de modo a corrigir a influência das cinzas.

Feições microscópicas heterogêneas que evidenciam assimilação inadequada de cinzas e condições inadequadas de queima são observadas, mais freqüentemente, em clínqueres onde o sistema de queima consiste na injeção de carvão granulada na torre de ciclones ou na injeção de carvões mais grosseiros, através da tubeira de ar primário. A heterogeneidade dos grãos de carvão, sua granulometria, umidade, alimentação e ar de combustão inadequados são fatores mais sensíveis nesses sistemas de queima que influenciam a marcha e a operação dos fornos e, conseqüentemente, a absorção das cinzas e o desenvolvimento de feições microestruturais características. As principais feições microscópicas que caracterizam clínqueres nacionais queimados inadequadamente com carvão, observados desde o início da substituição do óleo pelo carvão em 1979 são: a) porosidade variada e irregular decorrente da ação de cinzas na superfície dos grãos, originando uma crosta mais porosa, ou um aumento da porosidade do clínquer à semelhança de deficiência de moagem ou de condições insatisfatórias de clínquerização; b) coloração acastanhada em determinadas regiões do clínquer, decorrente possivelmente de condições locais mais redutoras (10). Esta feição tem sido freqüentemente observada nos clínqueres industriais nacionais, particularmente após o uso mais generalizado do carvão; c) nódulos de carvão (Figura 3), parcialmente

calcinados, principalmente nos clínqueres em que parte do sistema de queima é efetuado por injeção de carvão granulado na torre de ciclones. A granulometria e a umidade inadequada são os fatores responsáveis pela combustão incompleta e posterior incorporação dos grânulos pelo clínquer. Associado aos nódulos são comuns zonas silicosas indiscriminadas, cristais de C_3S decompostos, inclusões esféricas metálicas, sulfetos de cálcio (oldhamita) e coloração acastanhada; d) zonas de C_2S irregulares (Figuras 2, 4, 5 e 7), originadas de carvões grosseiros ricos em cinzas ou de incorporação de partículas de cinzas fundidas, através da precipitação na superfície dos grãos e penetração pelos vazios e fissuras do clínquer. Os cristais de C_2S são, geralmente, digitados e apresentam-se associados a uma fase intersticial mais abundante. Zonas regulares de C_2S (Figura 4), semelhantes àquelas devido à moagem deficiente do quartzo, podem ser originadas a partir das cinzas, devido a uma maior presença de grãos de quartzo, principalmente nos carvões oriundos do Rio Grande do Sul; e) cristais de C_3S decompostos, devido à sua reação com as cinzas de caráter mais ácido, levam à formação de C_2S (Figuras 6 e 7). As cinzas do carvão provocam uma retrogradação do C_3S , com formação de C_2S e transferência de CaO para cinzas. Algumas vezes, os cristais de C_2S lembram a forma do cristal original de C_3S ; f) cristais de C_3S com exsoluções indicam condições redutoras (10). Estas feições são mais freqüentes em clínqueres calcinados com carvão do que com óleo combustível (Figura 8); e g) inclusões metálicas, associadas à fase intersticial rica em C_3A , sugerem condições redutoras locais, decorrentes de queima inadequada do carvão granulado (Figura 9).

A dosagem inadequada das farinhas cruas pode influir na sua aptidão à clinquerização e na obtenção de uma composição aquém da projetada quando não se tiver o prévio conhecimento da composição química e do teor de cinzas do carvão utilizado como combustível. Os módulos químicos que controlam a farinha crua devem ser adequados ao teor e à composição das cinzas dos carvões utilizados. Dentre os módulos químicos, o Fator de Saturação de Cal (FSC) é o que apresenta as variações mais significativas, influenciando nas condições de queima, no teor de cal livre e na proporção de C_3S , um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento das resistências mecânicas do cimento. Em clínqueres queimados com óleo combustível, o FSC da farinha comumente mantém-se no intervalo de 0,90 a 0,95, sendo o valor 0,94 considerado como recomendado. O FSC da farinha calcinada com carvão mineral deve ser elevado a valores mais altos para compensar o efeito da incorporação das cinzas na composição do clínquer.

São apresentadas, na Tabela II, análises químicas de farinhas e clínqueres de fornos de via seca calcinados com óleo combustível e carvão mineral, com vistas aos estudos das variações da composição químico-mineralógica decorrentes da ação das cinzas no clínquer.

Corrigindo os valores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO da farinha para perda ao fogo igual a zero e comparando com as respectivas composições do clínquer (Tabela III),

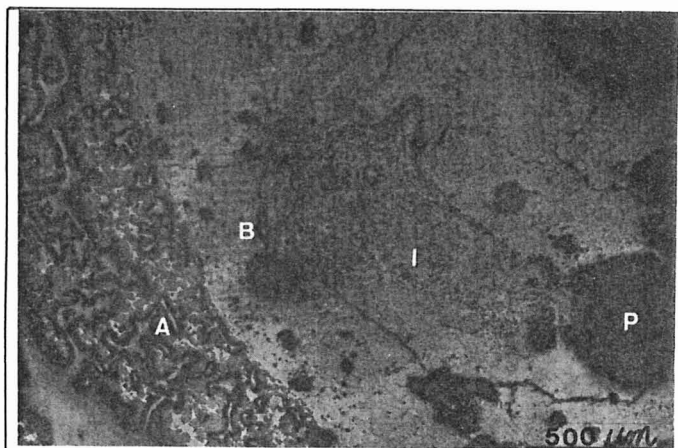


FIGURA 5 — Aspecto heterogêneo no clínquer decorrente de assimilação inadequada de cinzas de carvão granulado. Observa-se na parte central, zona mais silico-aluminosa (I); passando gradativamente para região mais cálcica, constituída de C_2S (B) e, na porção mais externa, região do clínquer não atacada, constituída predominantemente por C_3S (A).

TABELA II — Análises químicas de farinhas e clínqueres industriais.

	Fábrica A (*)		Fábrica B (**)		Fábrica C (***)	
	Farinha	Clínquer	Farinha	Clínquer	Farinha	Clínquer
Perda ao fogo	35,00	0,40	35,35	0,17	35,53	0,14
SiO_2	14,19	21,57	13,67	21,92	12,31	21,90
Al_2O_3	3,99	5,93	3,00	5,41	2,85	5,38
Fe_2O_3	2,10	3,02	2,04	3,45	1,84	3,22
CaO	42,45	65,44	44,01	65,26	44,64	65,70
MgO	0,35	0,38	0,97	1,60	0,99	1,43
SO_3	0,25	0,93	—	1,43	—	—
Na_2O	0,53	0,73	0,09	0,06	0,36	0,47
K_2O	0,08	0,05	0,28	0,52	0,78	1,01
FSC	0,93	0,95	1,02	0,92	1,15	0,94
MS	2,33	2,41	2,71	2,47	2,63	2,55
MA	1,90	1,96	1,47	1,57	1,55	1,67

(*) queimado com óleo combustível

(**) queimado com 50% de carvão mineral do Rio Grande do Sul (CEC-35)

(***) queimado com 100% de carvão mineral de Santa Catarina (CEC-35)

TABELA III — Resultados de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO das farinhas, corrigidas as perdas ao fogo igual a zero e dos clínqueres correspondentes.

	Fábrica A		Fábrica B		Fábrica C	
	Farinha	Clínquer	Farinha	Clínquer	Farinha	Clínquer
SiO_2	21,83	21,57	21,14	21,92	19,09	21,90
Al_2O_3	6,14	5,93	4,64	5,41	4,42	5,38
Fe_2O_3	3,23	3,02	3,15	3,45	2,85	3,22
CaO	65,30	65,44	68,07	65,26	69,24	65,70
FSC	0,93	0,95	1,02	0,92	1,15	0,94
MS	2,33	2,41	2,71	2,47	2,63	2,55
MA	1,90	1,96	1,47	1,57	1,55	1,67

podem-se tecer as seguintes considerações: a) proporção dos óxidos principais constituintes da farinha crua, pouco se modifica no clínquer queimado com óleo combustível (Fábrica A). A influência do óleo combustível na composição do clínquer se limita à incorporação de parte do enxofre do combustível, na forma de sulfatos; b) nos clínqueres queimados com carvão mineral (Fábricas B e C), quanto

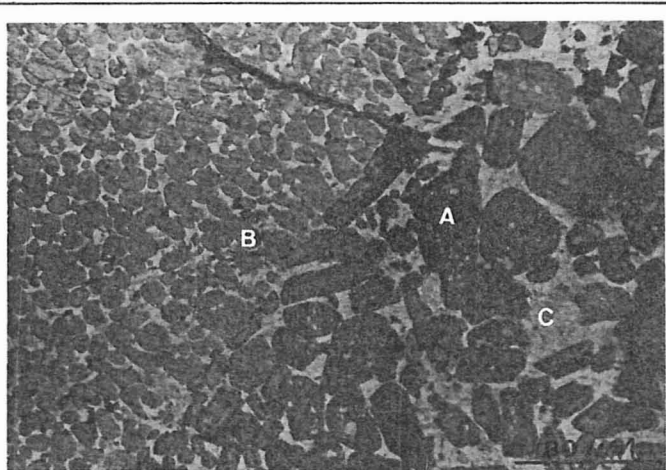


FIGURA 6 — Região do clínquer em contato com zona de C_2S decorrente do ataque das cinzas de carvão granulado. Na região próxima aos cristais de C_3S (A) observa-se C_2S (B) alongados, orientando-se no sentido ataque das cinzas, com os cristais de C_3S parcialmente corroídos e transformados em C_2S .

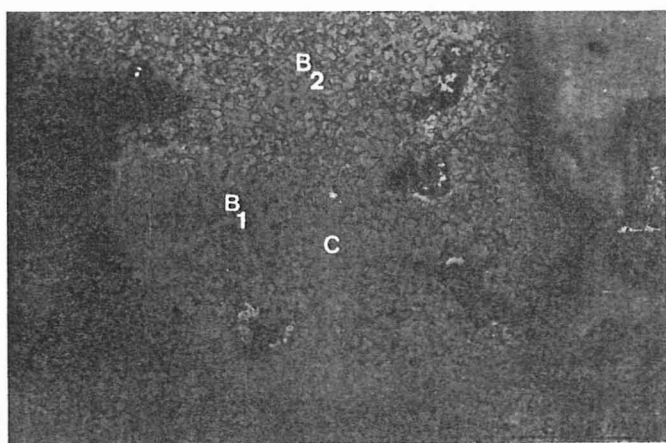


FIGURA 7 — Zona de ataque de cinzas com zona central mais silico-aluminosa com fase fundida abundante (C) e cristais dendríticos de C_2S (B_1) imersos na fase. Observa-se a intensa reconversão do C_3S em C_2S digitado (B_2) pelo ataque das cinzas do carvão.

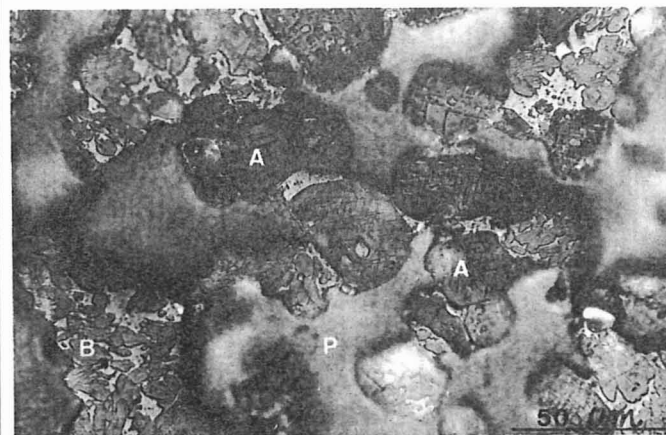


FIGURA 8 — Exsoluções em cristais de C_3S indicativo de ambiente redutor, decorrente de preparação inadequada e/ou queima insatisfatória do carvão.

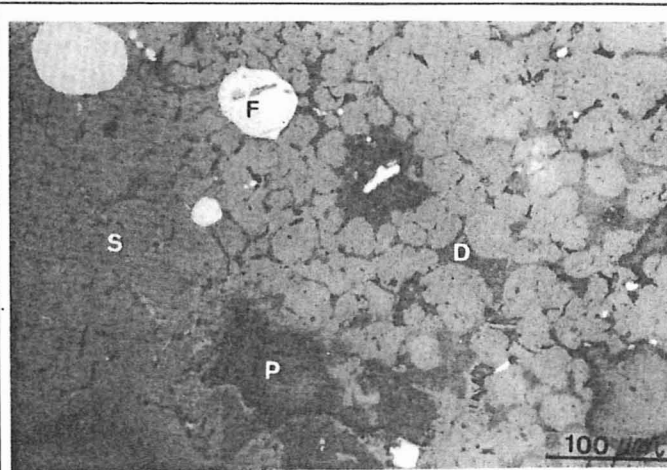


FIGURA 9 — Ocorrência de fase metálica no clínquer, indicativo de condições redutoras. Nas regiões próximas à fase metálica (F), a fase intersticial é constituída predominantemente por C_3A (D) devido à indisponibilidade de Fe^{+3} para a formação de C_4AF . S = silicato cálcico.

maior o nível de substituição do óleo pelo carvão, maior a influência das cinzas. Verifica-se um aumento crescente nos teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 e diminuição de CaO , com o uso crescente do carvão; c) a desdosificação crescente do clínquer pelas cinzas do carvão é manifestada por uma redução do fator de saturação de cal e do módulo de sílica e um aumento do módulo de alumina; e, d) mineralogicamente, há uma diminuição da relação C_3S/C_2S , um aumento da fase intersticial, principalmente do C_3A e decréscimo do conteúdo de silicatos.

A influência das cinzas do carvão na composição do clínquer é maior nos fornos de via úmida. A redução do teor de C_3S no clínquer de via seca com 100% de substituição de carvão é equivalente a 70% de substituição do clínquer de via úmida (8), dado o maior consumo de carvão e, conseqüentemente, maior incremento de cinzas na via úmida.

CONCLUSÕES

Os carvões minerais brasileiros caracterizam-se por um alto teor de cinzas e baixo poder calorífico. Podem influir na marcha do forno, na durabilidade dos refratários e qualidade dos clínqueres.

Por constituírem materiais heterogêneos, os carvões nacionais quando inadequadamente preparados e queimados podem provocar problemas no clínquer, relacionados à homogeneização e desdosificação da farinha, bem como feições microestruturais indesejáveis que afetam a estabilidade e a reatividade dos cristais formados, que em casos extremos poderão comprometer a qualidade do clínquer.

A adequação das condições de preparação e queima do carvão, bem como a correção da composição química das farinhas constituem parâmetros importantes a serem ajustados, pois o carvão, além de sua função com combustível, influi significativamente na constituição e microestrutura do clínquer.

A caracterização das condições de queima do carvão e

qualidade do clínquer, fundamentadas na observação microscópica das características mineralógicas e microestruturais do clínquer, fornecem subsídios para um melhor controle e aperfeiçoamento da queima do carvão mineral na fabricação do cimento.

REFERÊNCIAS

1. Ferreira, A. — Carvão pulverizado na indústria de cimento; características dos carvões nacionais. In: Associação de Cimento Portland (ABCP). Reunião de Técnicos da Indústria de Cimento, 25º, (Anexo n° 9), São Paulo, 25-26 de abril de 1977.
2. Barreto, A.M. — Desempenho energético da indústria brasileira de cimento em 1983. In: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Reunião de Técnicos da Indústria de Cimento, 35º, (Anexo n° 7), São Paulo, 5-6 de julho de 1984.
3. Abreu, S. Fróes — Combustíveis fósseis. In: Recursos Minerais do Brasil. v. 2, cap. 13, p. 321-450, São Paulo, Edgar Blucher/EDUSP, 1973.
4. Gaudio, A.G. — O emprego de carvão na geração de termelétrica — Engenharia, n° 433, p. 30 (jan./fev.) (1982).
5. Schneider, A.W. — Contribuição ao estudo dos principais recursos minerais do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Cia Riograndense de Mineração, 1978.
6. Heilmann, T. — Reactions of coal ash with portland cement clinker during the burning process. In: International Symposium on the Chemistry of Cement, 4th, v. 1, p. 87-98, Washington, DC, 1960.
7. Hawthorne, F. & Richey, F. & Demoulian, E. — Influence of the fuel and burning process on the microscopic structures and characteristics of the clinker. In: GOUDA, G.R., ed. Proceedings of the Third International Conference on Cement Microscopy, Houston, Texas, March 16-19, 1981. Duncanville, International Cement Microscopy Association, p. 121-6, 1981.
8. Chatterjee, A.K. — Phase composition, microstructure, quality and burning of portland cement clinkers; a review of phenomenological interrelations — World Cement Technology (London), 10 (4), 127 (5), 165 (1979).
9. Lhopitalier, P. & James, L.M. — Le clinker de ciment artificiel vu au microscope en lumière réfléchi — Revue des Matériaux de Constructions et de Travaux Publics. Centenaire de la naissance d'Henry Le Chatelier, Paris, 416, p. 17, Oct. (1950).
10. Long, G.R. — The effects of burning environment of the microscopic characteristics of portland cement clinker. In: GOUDA, G.R., ed. Proceedings of the Fourth International Conference on Cement Microscopy, Las Vegas, Nevada, March 28-April 1, 1982. Duncanville, International Cement Microscopy Association, p. 128-140, 1982.

Registro na ABC: Trabalho n° 278

PUBLICAÇÕES

FONTE: Publicação da Revista ENERGIA - Conservação e Substituição, Brasília, Ano III, n.º 2/março - abril de 1984.

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA: TÉCNICAS

Economia energética em fornos

- 268 GETTINGS, M. New developments in energy management, heat recovery and recuperation. - *Metallurgia*, 49 (10): 505 - 10. Oct. 1982 - (inglês - 5 páginas) - EN-812

A conservação de energia na operação de fornos pode processar-se através da reprogramação das operações, aprimoramento do projeto do forno, recuperação do calor residual e utilização de combustíveis alternativos. No projeto de um forno deve-se observar o isolamento térmico, o sistema de controle e o tipo de fonte de calor a ser utilizada. O aquecimento elétrico apresenta várias vantagens, destacando-se sua elevada eficiência, possibilidade de controle automático e a inexistência de problemas com a perda de calor nos gases de exaustão. Para a recuperação do calor residual são empregados trocadores de calor de casco e tubos, de placas, recuperadores, regeneradores e bombas de calor. O calor recuperado pode ser utilizado para aquecimento do ar de combustão, pré-aquecimento do forno nos processos em batelada, aquecimento de água e geração de ar quente

para processos de secagem.

Economia energética na indústria de cimento

- 269 GARTNER, E.M. & TRESOUTHICK, S.M. Potential for energy conservation in the U.S. cement industry. - *World Cement*, 13 (5): 200-205, June, 1982 (inglês - 5 páginas) EN-815

A conservação de energia na indústria de cimento envolve um aumento da eficiência total dos fornos e um melhor aproveitamento do calor residual, que pode ser utilizado na secagem da alimentação crua e do carvão empregado como combustível, ou na geração de energia elétrica. É apresentado um sistema para utilização do calor residual de um forno, que opera no processo de fabricação de cimento, por via úmida, o qual combina dispositivos de recuperação de calor com um purificador de ar e um ciclo especial para a remoção de álcali.

EQUIPAMENTOS PARA ENERGÉTICOS ALTERNATIVOS

Britadores

- 270 NIKLEWSKI, André. - Como otimizar o consumo de energia. *Minérios Extração & Processamento*, 6 (81): 38-48 (português - 11 páginas) -

EN-823

Para reduzir os custos de energia nos sistemas de cominuição, deve-se tentar obter a maior redução de tamanho possível na britagem, já que esta, desde que corretamente operada, é muito mais eficiente do que a moagem. A operação econômica de uma planta de cominuição envolve o estudo de necessidades energéticas de materiais para determinar a opção mais adequada do circuito britagem - moagem; a aplicação de alta taxa de energia por tonelada em processo de britagem e o uso de britador com sistema automático de regulagem a fim de maximizar o aproveitamento da potência instalada. Para satisfazer as necessidades da indústria de mineração que requer sistemas de britagem capazes de reduzir o material para uma granulometria adequada à alimentação de moinhos de bolas (95 a 97% menor que 25mm), foi desenvolvido o "Britador - Compound", que se caracteriza por apresentar um grau de redução até 1:100. Este equipamento opera sem fazer uso de grelhas, evitando, assim, problemas com entupimentos na britagem de materiais úmidos e argilosos e tem tido aplicação no ramo cimenteiro e em casos especiais na britagem de carvão e sal-gema.