



PLANTA PILOTO DE PRODUÇÃO METAKFLEX E SEU USO COMO AGLOMERANTE NO PELOTAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO*

Evandro Moraes da Gama¹

Abdias Magalhães Gomes²

Cláudio Batista Vieira³

Germano Pereira Matias⁴

Resumo

Os solos lateríticos, formados pela ação de intempéries e alteração das rochas como itabirito e suas variações, geram um solo onde sua composição mineralógica, características e granulometria favorecem a produção de um ligante pozolânico quando processado através da tecnologia de calcinação flash. A retirada desses solos para exploração do minério de ferro se faz necessária formando os conhecidos depósitos de estéreis. A tecnologia de calcinação flash (PI 9809941-8) permite transformação desses solos em ligante de alta resistência denominado de metacaulim flash. Esse produto, quando tratado com tecnologia adequada, é transformado no ligante denominado de Metakflex (PI 0604142-6). Nesse trabalho faz-se uma descrição da planta piloto integrada de calcinação de estéreis argilosos, rejeitos e lamas com capacidade de produção de 200 kg/h de Metakflex. A utilização da calcinação flash para o aumento da superfície específica de reatividade de minerais e para a redução da perda ao fogo de minérios de ferro pobres é apresentada. Finalmente, são mostrados resultados preliminares da utilização do aglomerante Metakflex para pelotamento.

Palavras-chave: Calcinação flash; Aglomeração; Metakflex; Pelotamento.

PILOT PLANT FOR THE PRODUCTION OF METAKFLEX AND ITS USE AS A BINDING AGENT IN THE PELLETIZING OF IRON ORES

Abstract

Lateritic soils, formed by the action of weathering and alteration of rocks as itabirite and its variations, generate soil whose mineralogical composition and particle size characteristics favor the production of a pozzolanic binder when processed through flash calcination technology. The removal of these soils for exploitation of iron ore is required and to do so we form sterile deposits. The technology of flash calcination (PI 9809941-8) allows processing these soils into a high-strength binder called metakaolin flash. This product, when treated with appropriate technology is converted into a binder called Metakflex (PI 0604142-6). This work provides a description of the integrated calcination pilot plant of sterile clays, tailings and sludges with production capacity of 200 kg/h of Metakflex. The use of flash calcination to increase the specific surface reactivity of minerals and to reduce loss on ignition of poor iron ore is displayed. Finally, preliminary results of using the binder Metakflex for pelletizing are shown.

Keywords: Flash calcination; Agglomeration; Metakflex; Pelletizing.

¹ Eng. de Minas – Geólogo de Engenharia – Hidrogeólogo, PhD, Prof. Associado do Departamento de Eng. de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

² Eng. Civil, Dr., Prof. Associado do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

³ Eng. Metalurgista, M.Sc., Dr., Prof. do Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto; Prof. da REDEMAT, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Eng. de Minas, Mestrando Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

A calcinação de materiais pulverulentos, ou seja, de baixa granulometria, (abaixo de 100 µm) é um problema para fornos de calcinação usuais. Da mesma forma, a estocagem de produtos pulverulentos como finos de carvão, rejeitos de minério de ferro, finos de cal, é um desafio para indústria mineral, siderúrgica e de calcinação. O uso de aglomerantes convencionais como bentonita, resinas vegetais, entre outros, apresenta restrições das propriedades físicas e químicas e custos elevados de produção.

Os solos de capeamento e estéreis como alguns tipos de filito tais como filito xisto, filito dolomítico e rochas metabásicas encontrados nas minas de minério de ferro, possuem uma mineralogia favorável à fabricação de aglomerante pozolânico intitulado metakflex. Este aglomerante tem como base minerais amorfos obtidos através da calcinação flash. Estes estéreis, principalmente os solos de capeamento, não são exclusividade das minas de minério de ferro. Capeamentos de minas onde temos feldspatos, calcários, gnaisses, bauxita, etc., todos possuem propriedades mineralógicas resultantes do intemperismo predominante no hemisfério sul do planeta, favoráveis a fabricação de pozolanas artificiais através da calcinação flash. Pelo exposto a filosofia desta unidade usina piloto é simples:

"Aqui nada se perde, tudo se aglomera."

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Princípios da Técnica de Calcinação Flash

Com o tratamento térmico flash, os materiais são processados no estado físico de um pó. Este pó, quando injetado em um fluxo de gás (ar ou fumaça) que fornece tanto energia de transporte e troca de calor, pode ser seco, aquecido ou arrefecido, dependendo do gás inicial e da temperatura das partículas.

A concepção da unidade de calcinação completa é mais bem compreendida olhando primeiro sua parte central: a câmara de calcinação (CC). Materiais pulverulentos em suspensão no ar de transporte entram na câmara na qual o combustível é queimado, fornecendo a energia térmica necessária (Figura 1). O ciclone seguinte (SC) assegura a separação dos dois fluxos: fumaça e partículas. O tempo de residência à temperatura elevada na zona de calcinação (CC, SC, e tubo de pescoço de cisne) induz à desidroxilação das partículas de argila, convertendo-as em pozolana. O calor sensível dos dois fluxos que saem da zona de calcinação é recuperado por arrefecimento dos materiais em ciclones de arrefecimento que pré-aquecem o ar para a CC, por um lado, e, secam e pré-aquecem os materiais em ciclones adicionais antes de entrarem na CC, recuperando-se calor sensível do fluxo de fumaça. Isto leva ao conjunto tradicional do ciclone, em que materiais e gás estão fluindo em contracorrentes através da montagem, e localmente coincidentes, dentro de cada trocador de calor (ciclone mais duto de gás).

Antes de entrar em detalhes do projeto, vários fatores decisivos para a adoção desta técnica na fabricação de pozolana devem ser mencionados:

1. No início do processo, as matérias-primas podem ser secadas e desintegradas com o tamanho requerido (tipicamente 80% < 80 µm) utilizando-se quantidades muito baixas de energia mecânica (menos de 2 kWh/t). O equipamento para esse intuito é, por conseguinte, muito mais simples e leve do que os tradicionais moinhos de bolas, seguido pela

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*



calcinação das pelotas em processos tradicionais (estas pelotas calcinadas são tão duras quanto tijolo). Esta foi a razão básica para a escolha da calcinação flash.

2. Haja vista que o tratamento térmico previsto é realizado em materiais pulverulentos, o manuseio através da unidade é sempre pneumático, e somente equipamento de caldeira é necessário. Toda a construção é portanto leve e não precisa de fundação de engenharia civil, o que a torna adequada para o uso semimóvel. A ausência de partes móveis pesadas também resulta numa elevada confiabilidade.
3. Pelo que se depreende do termo flash, o tratamento térmico é de duração muito curta, reduzida a alguns segundos ou décimos de segundo. Existe, então, a um dado tempo, apenas uma quantidade pequena de material sendo processada no interior da planta (de poucos quilos até 800 kg/h). Isto traz especificamente numerosas vantagens:
 - Permite que o conceito de "construção leve" seja possível;
 - Muito pouco material é desperdiçado durante as fases transientes de parada e de esvaziamento o aparelho, como também durante a partida da unidade. Além disso, é preciso menos de 1 hora para começar ou parar a produção da unidade;
 - No que diz respeito ao controle de processos, esta pequena quantidade de materiais permite rápidas alterações de parâmetros de processamento, e um controle muito preciso da temperatura de calcinação.

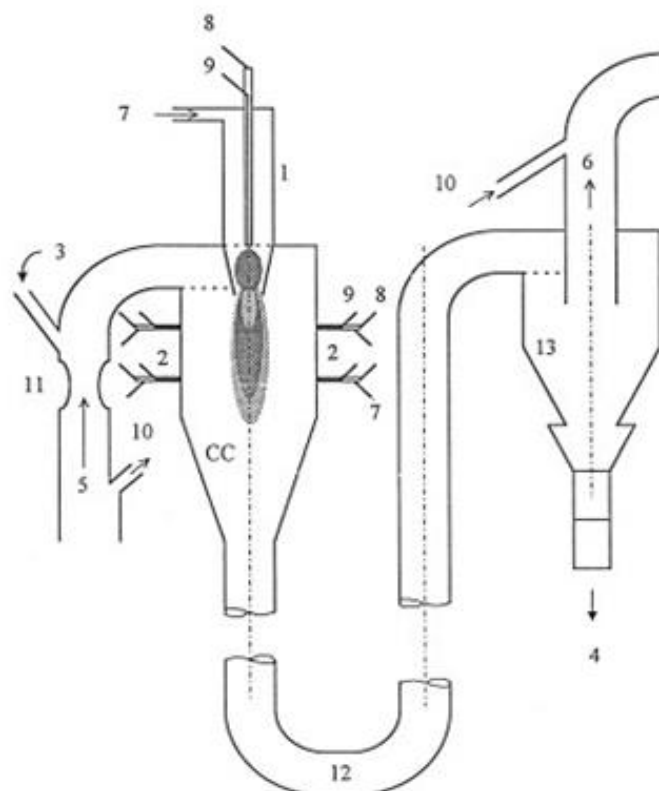


Figura 1. Descrição da zona de calcinação: (1) queimador axial; (2) seis queimadores radiais; (3) materiais pré-aquecidos; (4) pó calcinado; (5) ar secundário; (6) gases quentes; (7) ar primário; (8) pulverização de ar; (9) combustível; (10) ar do by-pass; (11) Venturi; (12) tubo pescoço de cisne; (13) (SC) ciclone separador; (CC) câmara de combustão (Salvador S, Pons O).

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



2.2 Balanço Térmico

Os solos argilosos passam por duas reações dentro da unidade. Primeiro a secagem vai remover de 1 a 12% de peso seco em umidade. A segunda reação é a desidroxilação de partículas de argila que geralmente ocorre a temperaturas que variam de 500 a 950°C, e leva o material a uma fase amorfa, chamada pozolana, resultando em alta reatividade com a cal. A perda ao fogo do produto seco é tipicamente de 10 a 14%. Uma terceira reação, no caso indesejável, ocorrerá se a temperatura ficar acima de 950°C, o que leva às fases recristalizadas (mulita e cristobalita) oferecendo muito pouca reatividade com cal.

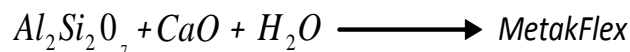
Um balanço de massa típico poderia ser como o que se segue: 1,25 tonelada de solo bruto contendo 10% de umidade será seca de forma a fornecer 1,14 tonelada de solo seco apresentando uma perda ao fogo de 12%, e calcinada para produzir uma tonelada de pozolana. Ao calcular as taxas de fluxo dos materiais dentro de cada parte da unidade, a eficiência de coleta de cada ciclone é levada em consideração.

A formação do aglomerante metakflex se dá através das seguintes reações:

Formação do Metacaolim:



Formação do Metakflex:



2.3 Planta Piloto

A planta piloto para calcinação flash e pelotização foi construída em Pedro Leopoldo - MG com recursos do Projeto Vale - Fapemig "Desenvolvimento de aglomerante de baixo custo a partir de estéril de mina para produção de pelotas de minério de ferro por meio de calcinação rápida tipo Flash" e recursos de empresas interessadas no processo flash. O Laboratório de Geotecnologia – LGT do Centro de Sustentabilidade da Escola de Engenharia da UFMG mantém parceria a nível acadêmico e de desenvolvimento de pesquisas com o Departamento de Metalurgia da UFOP, Insa – Institut des Sciences Appliquées de Toulouse e Universidade de Freiberg na Alemanha. Parcerias e trabalhos em conjunto com a iniciativa privada estão em franco desenvolvimento.

As matérias primas, (estéreis, rejeitos, lamas) passam por uma secagem, classificação e moagem para atingirem a granulometria correta para a calcinação. A figura 2 mostra um fluxograma simplificado.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

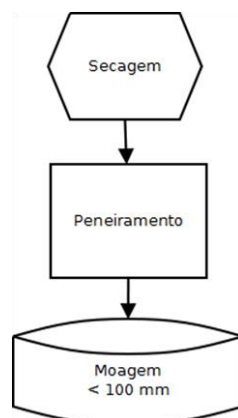


Figura 2. Fluxograma de preparação das matérias-primas

As matérias primas antes de entrarem nesta rota são caracterizadas através de estudos mineralógicos, físico-químicos, termodinâmicos e mecânicos, onde o objetivo é obtermos a melhor granulometria para uma liberação e concentração dos minerais adequados ao processo. Através deste estudo poderemos partir para a calcinação a nível piloto. A partir da calcinação a nível piloto poderemos partir para a escala industrial.

A figura 3 a seguir mostra um esquema do forno flash instalado na planta piloto do LGT.

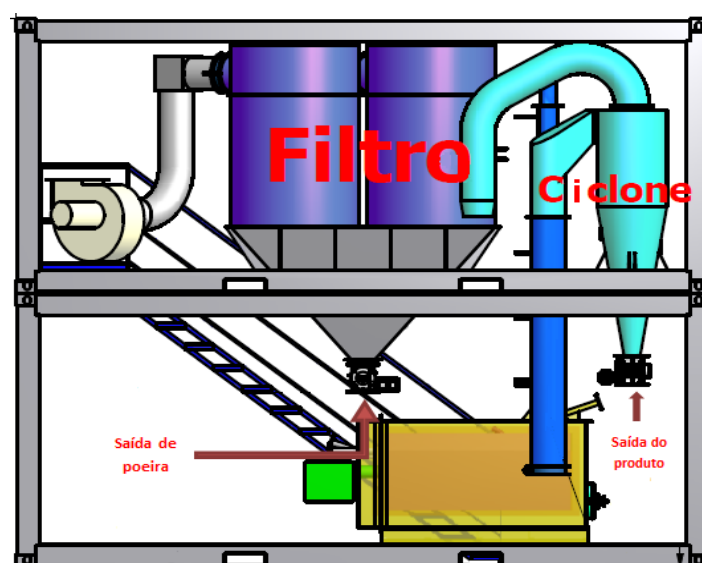


Figura 3. Esquema do calcinador flash da usina piloto.

O tempo de residência das partículas é de frações de segundo. O calcinador é ativado por um queimador que exige um fluxo de ar de 300 Nm³/h. O combustível utilizado é GLP, podendo também se utilizar combustível oriundo de gás de lixo. Neste caso um gasôgênio é ligado ao sistema.

A grande vantagem desta planta é a versatilidade para montagem e o controle de qualidade dos produtos provenientes dos materiais testados. O fato de podermos testar lama de barragem e materiais com granulometria abaixo de 100 mm até mesmo abaixo de 0,03 mm, sem lançamento de pó ao meio ambiente é um diferencial.

A planta esta equipada com um disco de borda para pelletização modelo Scarabeus 1000 da Haver & Boecker. O aglomerante metakflex produzido na planta é utilizado

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



para o pelletamento de minérios e finos de carvão vegetal, com a tecnologia do Scarabeus 1000.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Aplicações da Calcinação Flash

A área superficial específica relacionada ao tamanho médio das partículas depende também do tamanho e da quantidade de poros presentes na superfície ou conectados à superfície da partícula. O método BET mede a área superficial correspondente aos poros existentes.

Na análise da reatividade do material pozzolânico seria importante que a área superficial fosse a maior possível. Estudos comparativos com metacaulim produzido em forno rotativo e forno Flash mostram que o processo em ambiente controlado no forno Flash confere ao metacaulim propriedades importantes como menor absorção de água para uma alta reatividade.

A microscopia eletrônica, através do seu grande poder de aumento e da possibilidade de análises pontuais, permite que a microestrutura seja mais bem avaliada e compreendida, fornecendo a composição e a morfologia das fases detectadas. Na figura 4 é mostrada uma fotomicrografia para amostra de argila natural.

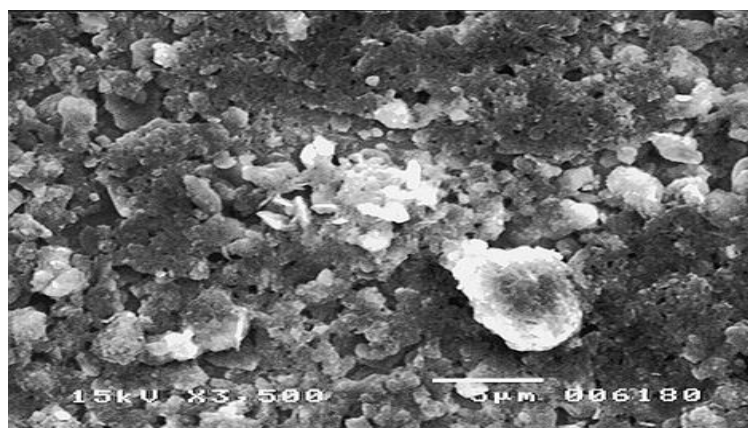


Figura 4. Fotomicrografia Argila Natural

Os cristais de caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) são característicos das argilas naturais. Esses cristais se apresentam na forma de placas aproximadamente hexagonais

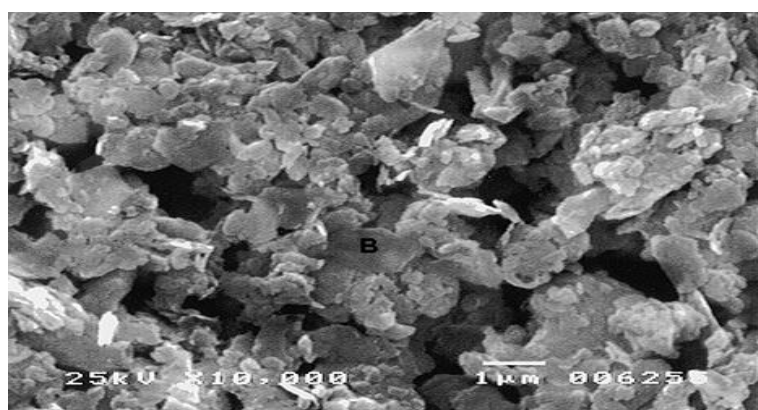


Figura 5. Fotomicrografia Argila Calcinação – Cristais de Metacaulim

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Um fato interessante é que após a calcinação a microestrutura da argila é a mesma, apresentando-se na forma de placas hexagonais, mesmo não sendo um composto cristalino. Através das fotomicrografias pode-se ver as partículas do metacaulim ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) [1]. Partículas de argilas calcinadas são bem maiores que as das argilas naturais devido ao fato das partículas se aglomerarem durante a calcinação, o que pode ser uma evidência da ocorrência de algum fenômeno que propicie essa aglomeração. No caso de solos argilosos cauliniticos e lateríticos a superfície específica produzida pela calcinação flash é da ordem de 80 m²/g. E as temperaturas de calcinação variam entre 640°C e 720°C. Até 2007 acreditávamos que a calcinação flash se aplicava mais a produção de pozolanas partindo de solos de capeamento. Porém outros pesquisadores mostram que para o carbonato de magnésio usado na indústria de refratários as superfícies obtidas com calcinação flash foram da ordem de 180 m²/grama para temperaturas entre 800°C e 900°C. Salvador e Commandré [2,3] mostram que para finos de carbonato de cálcio provenientes de cal industrial e trabalhando com a calcinação flash em atmosfera de N₂ com temperaturas entre 600°C e 700°C obtiveram superfícies específicas da ordem 90 m²/grama, atingindo uma alta reatividade. Carlos Magno [4] testou concentrado remoído e finos de ciclonagem. O melhor resultado mostrou que para uma das amostras do concentrado remoído o PPC na alimentação era de 4,7% e após a calcinação 2,5%.

Alguns testes preliminares foram realizados no pelotamento de minério de ferro, manganês e finos de carvão vegetal, utilizando como aglomerante o Metakflex. A seguir apresentamos alguns resultados referentes à resistência tendo como aglomerantes a tradicional bentonita e o Metakflex.

Tabela 1. Resistência à compressão pelotamento com bentonita e com metakflex após 1300°C (vaso térmico)

	Resistência à Compressão Kg					
	Bentonita			Metakflex		
	Média	Maximo	Mínimo	Média	Maximo	Mínimo
Minério de Ferro	196	377	79	174	361	82
Desvio	66			70		
Manganês	197	408	47	120	273	41
Desvio	75			55		

Tabela 2. Resistência média à compressão de pelotas de minério de ferro secas em estufa por 24 horas à 40° C

Resistência média (kg) à compressão de pelotas secas em estufa por 24 horas à 40°C	
Média (kg)	Desvio (Kg)
9,4	2,13

Tabela 1. Resistência média à compressão de pelotas de finos de carvão vegetal secas em estufa por 24 horas a 50°C

Resistência média (kg) à compressão pelotas de finos de carvão vegetal secas em estufa por 24 horas a 50°C	
Média (kg)	Desvio (Kg)
5,64	1,13

Observa-se que o aglomerante metakflex apresenta resultados promissores para pelotas cozidas e para pelotas cruas. No caso das pelotas de carvão a hidratação

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



controlada dos finos de carvão antes do pelotamento é de grande importância na resistência final.

4 CONCLUSÃO

A calcinação flash se mostra uma tecnologia versátil e eficaz no tratamento da desidroxilação de minérios e matérias-primas pulverulentas. O aglomerante Metakflex em desenvolvimento se mostra bastante vantajoso do ponto de vista estratégico e econômico, podendo ser produzido a partir de solos de capeamento e determinados estéreis francos, assim como de lama de barragem. Este somatório de vantagens mostra que o Metakflex pode levar a uma verdadeira sustentabilidade da indústria da mineração, podendo transformar passivos ambientais em produtos. Dois grandes atrativos da tecnologia flash são a facilidade ímpar de implantação e os baixos custos de investimento.

Finalmente podemos afirmar que a tecnologia flash de secagem e calcinação envolve trazer em operação fenômenos rápidos e combinados de transferência de calor e massa em suspensões multifásicas. Várias precauções devem ser tomadas durante o desenho de cada unidade. No entanto, a construção final da unidade é uma combinação de caldeiraria de ciclones e dutos, e resulta em uma unidade compacta em comparação com outros sistemas de fornos. Todos os requisitos para a semi-mobilidade podem ser cumpridos. Uma instalação que inclui uma câmara de combustão seguida por um ciclone separador, envoltos por um ciclone secador, um ciclone para pré-aquecimento e três ciclones resfriadores apresenta um bom equilíbrio térmico. Ela pode ser inteiramente acondicionada em 2 contêineres. Ela pode ser deslocada de um local para outro no espaço de alguns dias, incluindo parada, desmontagem, remontagem e partida, sem desperdício significativo de material.

Agradecimentos

Agradecemos à Fapemig, Vale S/A, e a Haver & Boecker pelo apoio técnico e financeiro para a publicação deste artigo e desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 Calabria J. Estudo das Origens e Propriedades do Metacaulim [Dissertação de Mestrado]. [Belo Horizonte]: Universidade Federal de Minas Gerais; 2001.
- 2 Salvador S, Pons O. A semi-mobile flash dryer/calcliner unit to manufacture pozzolana from raw clay soils — application to soil stabilisation. *Construction and Building Materials*. março de 2000;14(2):109–17.
- 3 Commandré J-M, Salvador S, Nzihou A. Reactivity of Laboratory and Industrial Limes. *Chemical Engineering Research and Design*. janeiro de 2007;85(4):473–80.
- 4 Leonel CM de L. Estudo do processo de calcinação como operação unitária adicional na pelotização de minérios de ferro com alto valor de PPC [Tese de Doutorado]. [Belo Horizonte]: Universidade Federal de Minas Gerais; 2011.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*