

PÓ DE EXAUSTÃO ORIUNDO DO PROCESSO DE MOLDAGEM A VERDE COMO MATÉRIA PRIMA ALTERNATIVA PARA A INDÚSTRIA CERÂMICA.

M. B. A. Bruno (1), R.L.P. Carnin (1), M.V. Folgueras (2), F. R. Cúnico (2)

Rua: Misael Geraldino de Almeida nº 21, Aventureiro, Joinville - SC,

e-mail: maressa@tupy.com.br

(1) Tupy S.A - (2) UDESC

RESUMO

O processo de moldagem em areia verde gera grande quantidade de pós de exaustão. Estes pós contêm sílica, carbono, óxido de ferro, e argila, ou seja, em sua composição estão presentes os elementos predominantemente encontrados em matérias primas empregadas na fabricação de: tijolos, telhas, cimentos e revestimentos cerâmicos. Entretanto, o pó de exaustão apresenta-se como um pó de granulometria muito fina e elevado teor de materiais não plásticos que podem interferir no desempenho de processamento e de uso dos materiais em que sejam empregados. Neste trabalho foram caracterizados pós de exaustão provenientes de uma mesma empresa de fundição. Foram avaliadas, entre outras, a composição química, composição mineralógica, distribuição granulométrica e comportamento de calcinação. Os resultados mostraram a viabilidade do uso destes materiais para a preparação de materiais cerâmicos.

Palavras Chaves: pó de exaustão, areia verde, cerâmica vermelha.

INTRODUÇÃO

Os órgãos de licenciamento ambiental têm se preocupado de modo especial com o impacto ambiental que os resíduos industriais podem causar no meio ambiente. O efeito pode ser percebido na atmosfera, no solo, no lençol freático, no ecossistema e o reflexo é percebido na saúde pública. O impacto ambiental deve ser avaliado com base em todo o ciclo de vida do produto, desde a fabricação nas dependências da empresa, bem como nas etapas de destinação final.

Assim, as principais diretrizes ambientais preconizam a importância da redução do volume de resíduos gerados, o controle de sua destinação e a reciclagem. Desta forma, a reciclagem de resíduos torna-se prática de muita importância na preservação de recursos naturais e redução dos impactos ambientais, tendo em vista que a redução apesar de ser prioritária, é tecnicamente limitada. A reciclagem é essencial para o desenvolvimento sustentável, pois é impossível imaginar uma sociedade que não gere resíduos.

A indústria de fundição de ferro fundido tem grande importância desde o final do século XVI e principalmente nos dias atuais, fornecendo produtos para indústrias de diversos segmentos como automobilística, construção ferroviária e naval, bens de capital (principalmente máquinas e implementos agrícolas), mineração e fabricação de cimentos e extração e refino de petróleo. Entretanto, possui um alto potencial poluidor por consumir grandes quantidades de recursos naturais e de gerar grande volume de resíduos poluentes, mas em contrapartida a mesma consiste numa fonte de reciclagem de sucatas metálicas, transformando em bens e consumo de capital.

Dentre os resíduos sólidos gerados na indústria de fundição destacam-se os pós de exaustão formados durante o processo de moldagem em areia a verde. A obtenção dos moldes em areia verde é originada através da mistura da bentonita (argila), pó de carvão, areia e água, e durante este processo são emitidos pós de diâmetro reduzido que são coletados por um sistema de exaustão, os quais arrastam grande quantidade de poeira.

Este resíduo é constituído principalmente por sílica, na forma de quartzo, carbono, óxido de ferro e argila, na forma de bentonita. Em sua composição estão presentes os elementos predominantemente encontrados em massa cerâmica utilizada na fabricação de produtos, tais como, tijolos, telhas, cimentos e revestimentos cerâmicos.

Sendo assim, o setor de cerâmica vermelha, destinada a construção civil, tem sido um dos setores em potencial para absorver este tipo de resíduo. Além do mais, a incorporação do mesmo na massa cerâmica pode, em alguns casos, reduzir o uso de matérias primas originais e conseqüentemente uma possível redução de custo.

Neste contexto, este trabalho propõe caracterizar os pós de exaustão gerados no processo de moldagem a verde como material alternativo para a indústria cerâmica, por meio de análises como: fluorescência e difração de raios X, teor de

umidade e argila ativa, perda ao fogo, análise termogravimétrica, microscopia eletrônica de varredura e distribuição granulométrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de pó de exaustão utilizadas neste estudo foram originadas do processo de moldagem em areia a verde de uma indústria de fundição da região de Joinville. Foram selecionadas nove caçambas para coleta deste resíduo identificadas como: 304, 307 e 398 provenientes da unidade fabril B; 447 e 448 provenientes da unidade fabril C e 505, 507, 508, 509 provenientes da unidade fabril Blocos.

A caracterização química foi realizada por meio da técnica de fluorescência de raios X e a perda ao fogo através da queima por 3h a 950°C em forno mufla. A análise termogravimétrica e DSC foram determinadas na faixa de temperatura de 0 a 1400°C em atmosfera oxidante. O teor de argila ativa foi determinado via método do azul de metileno. O percentual de umidade foi determinado por secagem das amostras à 100°C por 24 horas. A distribuição granulométrica foi determinada empregando granulometria a laser. A composição mineralógica foi determinada por difração de raios X e a caracterização morfológica das partículas por meio de microscopia eletrônica de varredura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma análise preliminar das amostras recebidas foi considerada a determinação do teor de umidade e do teor de argila ativa (Tabela 1). O primeiro item está diretamente associado às características de processo e o segundo ao material que é processado em cada unidade.

Tabela 1. Análise de umidade e argila ativa

Análises	Unidade fabril								
	B			C		Blocos			
	304	307	398	447	448	505	507	508	509
% Umidade	2,3	2,0	4,2	3,9	1,3	41,6	37,9	32,9	31,2
% Argila ativa	33,8	38,2	31,5	36,7	26,4	10,5	11,5	16,9	17,1

Quanto ao teor de umidade, todas as amostras das unidades fabris B e C apresentaram teores menores que 5%. As amostras provenientes da unidade fabril Blocos apresentaram os maiores teores de umidade (31,2 - 41,6%), isto devido à

utilização de um processo de lavagem no sistema de exaustão. Desta forma deve-se considerar que o material oriundo das unidades B e C devem ser destinados preferencialmente a processos cerâmicos onde a conformação é realizada a seco, enquanto o material oriundo da unidade Blocos deve ser destinado, preferencialmente, a processos onde a umidade não interfere tanto como processos de extrusão ou moagem a úmido.

Conforme D'elboux (2000) o teor de argila ativa está associado à presença da montmorilonita, principal argilo mineral contido na bentonita (aproximadamente 80%). Isso significa que quanto maior o teor de argila ativa maior a presença da montmorilonita. Porém, deve-se lembrar que a bentonita pode ser modificada pelo aquecimento gerado no processo de fundição, o que em parte pode justificar alterações nos resultados de argila ativa. Considerando os resultados da Tabela 1, os maiores teores foram encontrados nas amostras provenientes das unidades fabris B (31,5-38,2%) e C (26,45-36,75%). As amostras provenientes da unidade fabril Blocos apresentaram teores menores (10,5-17,1%) em comparação aos da B e C. Estes resultados indicam que parte da montmorilonita não foi deteriorada durante o aquecimento do molde. Sendo assim, as amostras mais atrativas para uso na indústria cerâmica seriam das unidades B e C por apresentarem maior teor de bentonita ativa.

A composição química (Tabela 2), apresentada na forma de percentual em massa de óxidos, foi obtida a partir do material seco. Todas as amostras apresentaram predominância de óxido de silício (44,10 a 60,49%), este resultado é proveniente da areia que é a principal matéria prima empregada na confecção dos moldes de fundição. A presença de alumina (16,31 a 20,11%) está associada à bentonita, assim como o K₂O, CaO e MgO. O teor de óxido de ferro variou de 4,79 a 8,33%, este óxido provavelmente é oriundo do ferro que fica incorporado na areia verde após a desmoldagem da peça.

Tabela 2. Análise semi-quantitativa determinada via fluorescência de raios-x.

Amostra	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% K ₂ O	% CaO	% TiO ₂	% Cr ₂ O ₃	% MnO	% PF**
B -304	45,31	19,62	8,33	0,70	1,04	0,86	0,02	0,06	24,05
B -307	47,02	19,11	7,05	0,56	0,99	0,79	0,00	0,05	24,38
B -398	44,10	18,1	7,40	0,69	1,40	0,76	0,02	0,06	27,47
C -447	46,40	19,37	7,14	1,02	1,17	0,59	0,04	0,09	24,16
C -448	55,00	20,11	4,79	1,03	1,20	0,56	0,16	0,04	17,01

Blocos -505	48,70	16,31	6,30	1,24	0,92	0,69	0,22	0,08	25,51
Blocos -507	48,30	17,28	5,22	1,41	1,05	0,68	0,15	0,06	25,81
Blocos -508	57,22	18,16	5,75	1,34	1,18	0,63	0,23	0,07	15,40
Blocos -509	60,49	18,05	7,42	1,24	0,96	0,61	0,53	0,06	10,59

**PF= Perda ao fogo

O maior percentual de perda ao fogo foi encontrado no pó de exaustão proveniente da caçamba 398 (27,47%), sendo que as amostras das caçambas 448, 508 e 509 apresentaram os menores teores. Estes resultados estão relacionados à oxidação do carbono oriundo da adição do pó de carvão na areia verde e também à decomposição da bentonita. Deste modo entende-se que amostra com maior teor de perda ao fogo possui presença significativa de pó de carvão e bentonita. Esta maior perda ao fogo poderá ser responsável pela produção de corpos cerâmicos de menor densidade assim como pelo aumento de defeitos presentes nas peças resultantes da geração de voláteis durante o aquecimento.

Para a realização dos ensaios termogravimétricos e calorimetria exploratória misturou-se os pós de exaustão das caçambas: 304, 307, 308, 447 e 448. A opção foi escolhida pela verificação de que estes materiais apresentavam composição química bastante semelhante, os resultados estão apresentados na Figura 1.

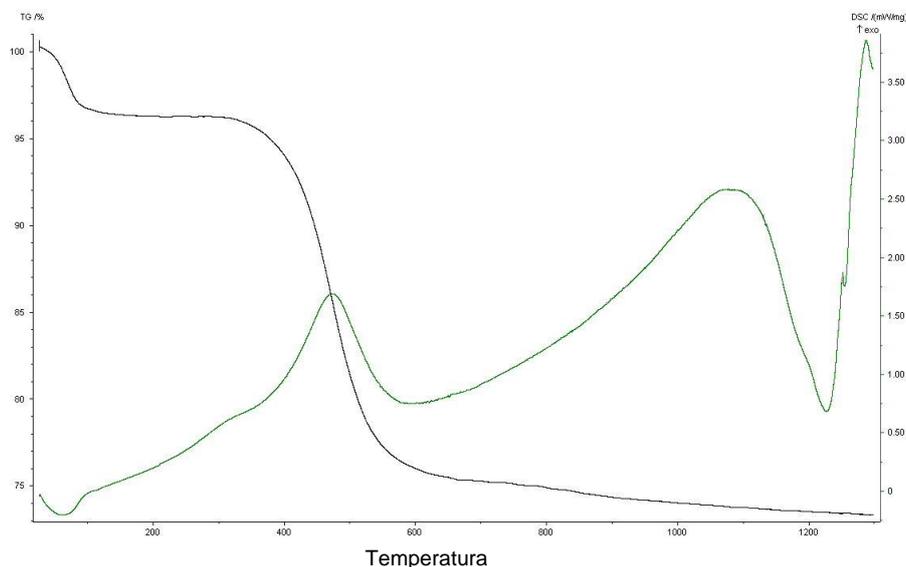


Figura 1. Análise termogravimétrica da mistura de pó de exaustão.

A curva de análise termogravimétrica permite identificar três intervalos de perda de massa: O primeiro ocorre abaixo de 100°C devido à perda de água (cerca de 5% em peso); o segundo entre 300 e 600°C corresponde à decomposição do argilo mineral com eliminação da água adsorvida e também à oxidação do carvão e

formação de CO_2 . De 600 a 1400°C ainda ocorre perda contínua de massa devido oxidação do carvão e formação de CO_2 .

Na curva de DSC identificou-se um evento endotérmico próximo a 100°C que esta associado à perda de água; um evento exotérmico entre 300 e 600°C, que pode ser associado a perda de massa citada anteriormente; um evento endotérmico entre 1100 e 1300°C que pode estar associado à formação de fase líquida ou reação entre constituintes do material.

A análise de difração de raios X (Figuras 2, 3 e 4) dos pós de exaustão mostra que estes são constituídos em sua maioria por: quartzo e montmorilonita em alguns casos foi identificada a presença de um segundo argilomineral, mas com picos característicos de baixa intensidade. Para o resíduo oriundo da unidade de Blocos identificou-se a presença de cristobalita, o que está associado ao aquecimento da areia no processo de fundição. Em relação à identificação da presença de montmorilonita foi possível perceber que parte da montmorilonita presente na mistura apresentou-se alterada em função do aquecimento resultante do processo de preenchimento dos moldes com metal líquido.

Do ponto de vista de aplicação deste material como matéria prima para a indústria cerâmica pode-se considerar que o material apresenta em sua composição fases semelhantes àquelas presentes nas matérias primas empregadas no setor, sendo que o material em estudo deve ser utilizado em substituição a matérias primas não plásticas.

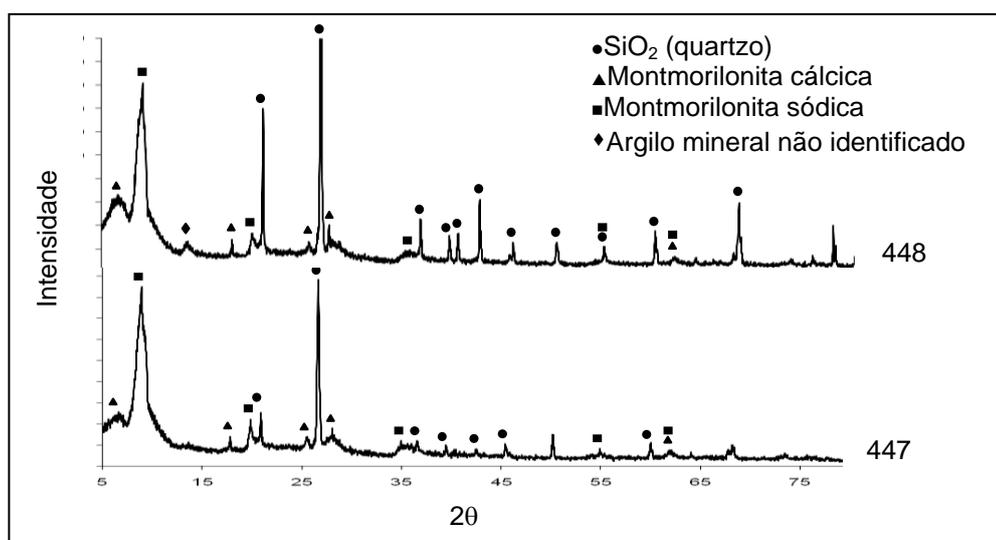


Figura 2: Difratograma das amostras de pó de exaustão da unidade C.

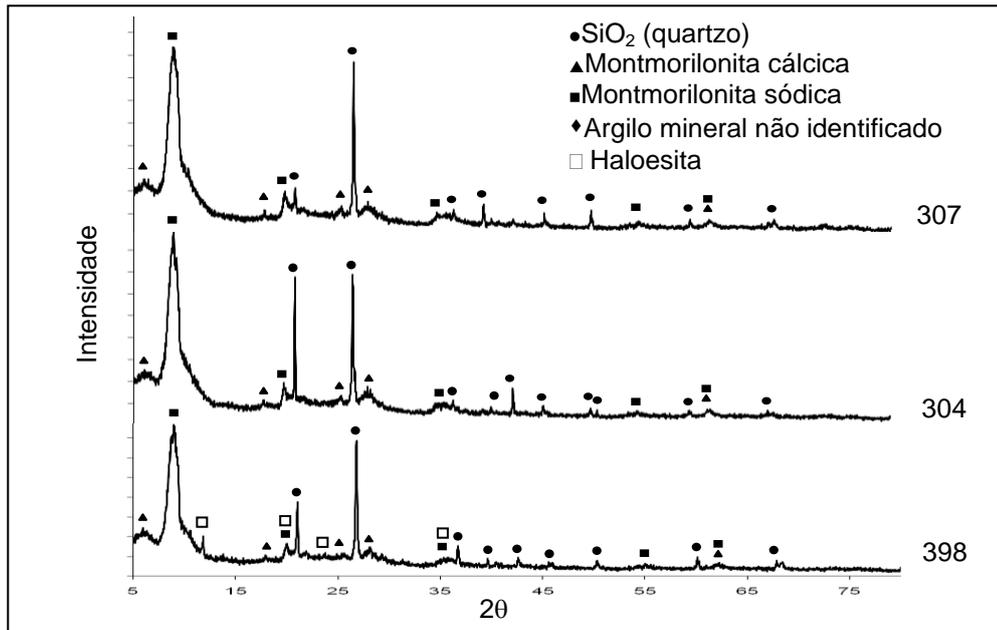


Figura 3: Difratoograma das amostras de pó de exaustão da unidade B.

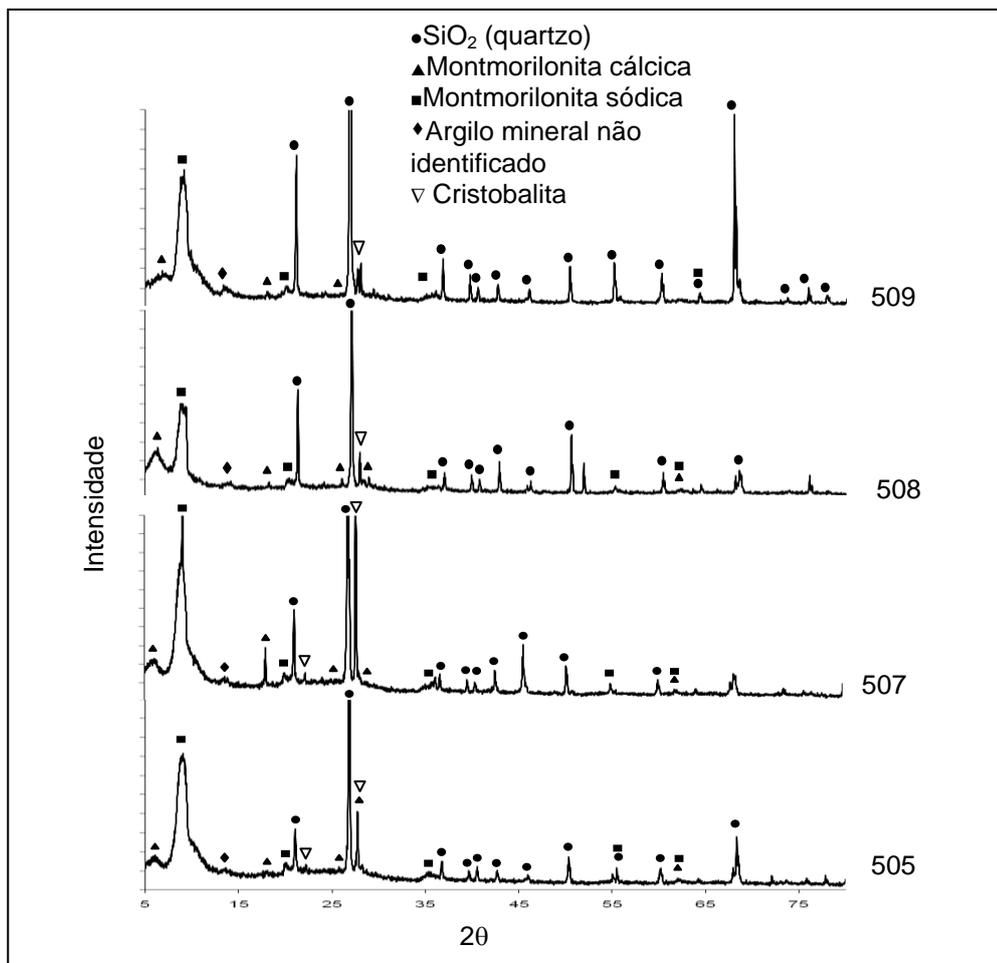


Figura 4: Difratoograma das amostras de pó de exaustão da unidade Blocos.

Além da composição química e da análise mineralógica do material é importante considerar os parâmetros granulométricos e morfológicos das partículas que os constituem. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de análise granulométrica e nas figuras 5, 6 e 7 estão apresentadas a morfologia do resíduo.

Tabela 3. Distribuição granulométrica das amostras de pó de exaustão (μm).

Granulometria acumulada	Amostras								
	304	307	398	447	448	505	507	508	509
D ₁₀	1,3	538,8	1,4	1,6	423,5	0,7	672,2	0,7	1,0
D ₅₀	45,9	695,4	28,1	31,9	588,4	1,1	840,6	1,3	5,9
D ₉₀	174,5	903,7	59,3	112,7	802,1	1,5	965,8	1,9	24,6

Os resultados de distribuição granulométrica foram os que apresentaram maior diferença entre os materiais provenientes das diferentes caçambas, mesmo daquelas provenientes da mesma unidade fabril.

Os valores de diâmetro médio (D₅₀) mostraram que o resíduo depositado nas caçambas 307, 448 e 507 foram os que apresentaram partículas mais grosseiras. Sendo que os resíduos oriundos das caçambas 505 e 508 provenientes da fundição blocos são o mais fino entre todos. Em síntese cada uma das unidades fabris possui um ponto de descarte de material grosseiro e que a fundição blocos é a que gera maior teor de finos.

A comparação da diferença entre D₁₀ e D₉₀ nos dá uma idéia de quão aberta é a curva de distribuição granulométrica dos materiais. O que se percebe é que quanto mais fino é o material mais fechada é a curva de distribuição granulométrica. É importante lembrar que a fração grosseira (>0,05mm) está associada à presença de areia, pois segundo Biolo (2005) a granulometria típica da areia base compreende grãos que podem variar de 3,36 a 0,053mm.

A fração com granulometria fina está associada a: presença de bentonita, pois conforme Guesser (1982) apud Carnin (2008, página 6) “geralmente as bentonitas são caracterizadas por apresentar partículas muito finas” e também pode ser associada à presença de pó de carvão.

Os resultados de distribuição granulométrica permitem concluir que a melhor alternativa para o processamento do material em estudo é combinar os materiais das diferentes caçambas de cada linha fabril. Com isto permitirá uma melhor

repetibilidade nas características do material disponibilizado, assim como produzirá um material com uma melhor dispersão das partículas.

A micrografia das amostras da unidade fabril B (Figura 5) apresentou formas bem diferenciadas: a amostra 304 apresentou uma superfície em forma de placas finas e lisas, que é resultante da presença de carbono e bentonita que tem grande tendência ao amassamento e formação dessas placas, a 307 apresentou uma distribuição de grãos porosos, bem diferenciados quando comparado as amostras 304 e 398. Observa-se ainda que a amostra 398 foi a que apresentou grãos mais arredondados.

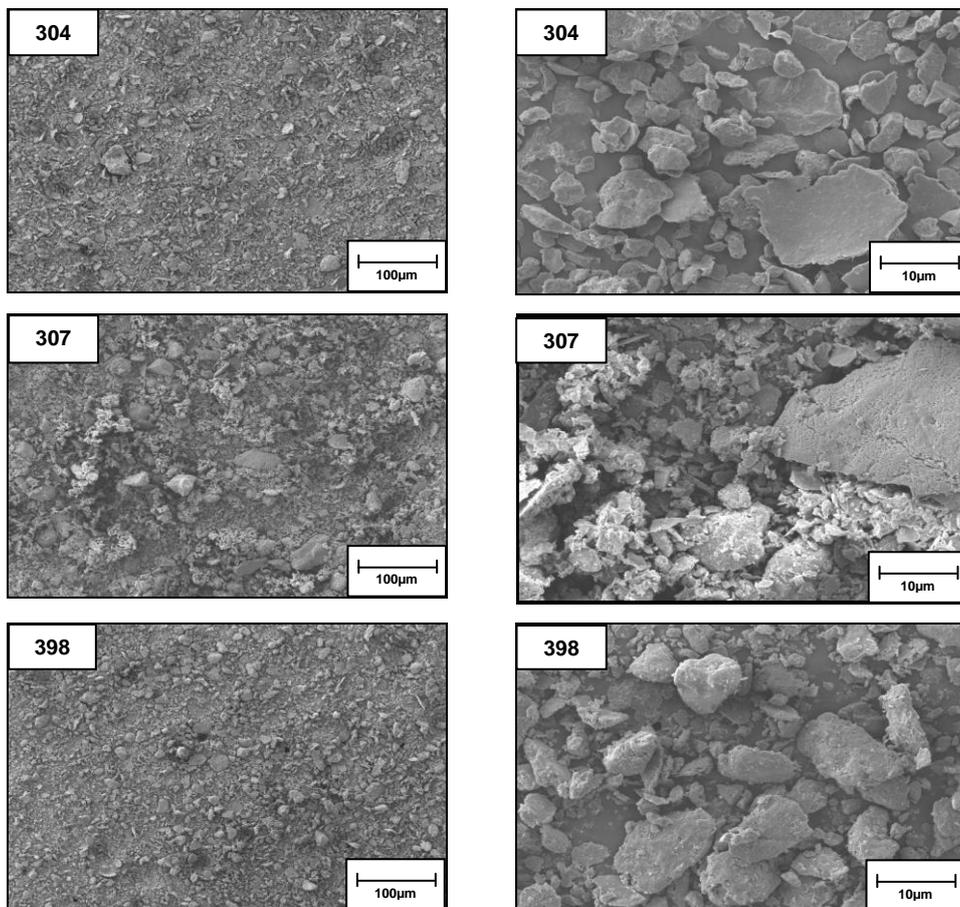


Figura 5. Micrografias das amostras de pó de exaustão da unidade B.

A micrografia da amostra 447 (Figura 6) apresentou uma superfície em forma de grãos alongados com pequena porosidade e a amostra 448 apresentou grãos arredondados com maior porosidade.

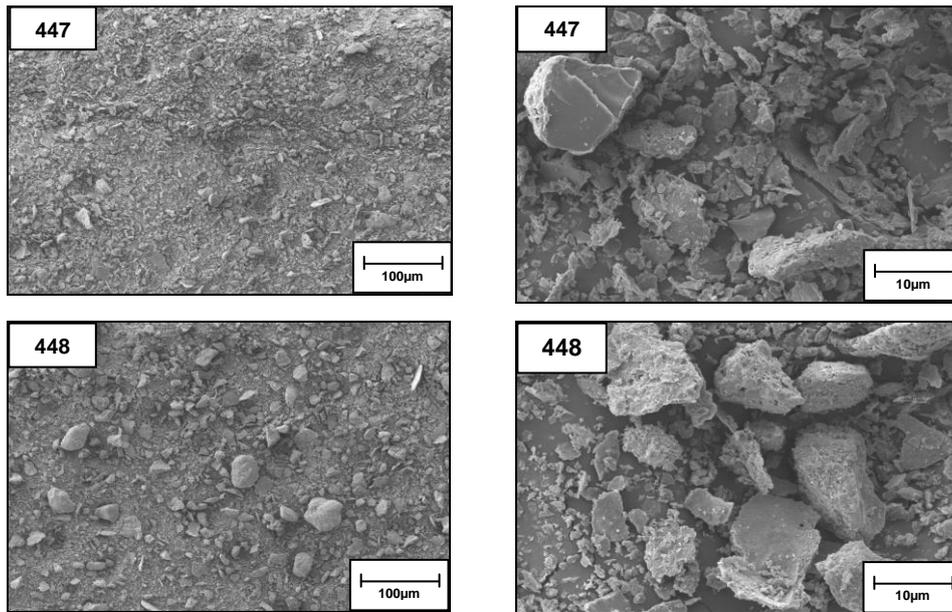
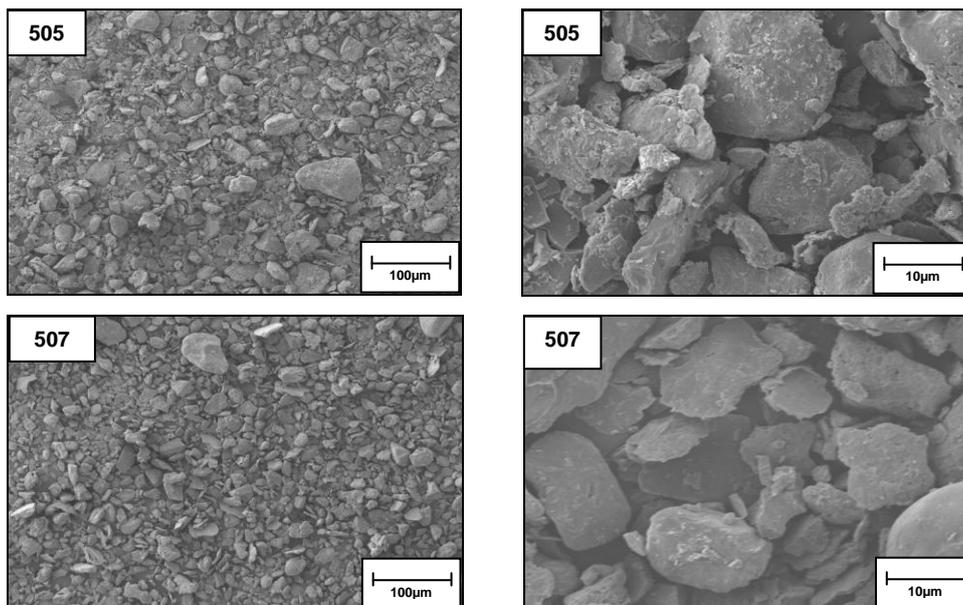


Figura 6. Micrografias das amostras de pó de exaustão da unidade C.

A micrografia das amostras da unidade fabril Blocos (Figura 7) apresentaram formas bem diferenciadas combinando partículas arredondadas e aciculares, assim como partículas mais densas e partículas porosas.

Em síntese, o material disponibilizado, independente da linha fabril de origem é caracterizado por material com maior tendência a formação de partículas arredondadas e com a presença de partículas com formato de lâminas de dimensões variadas.



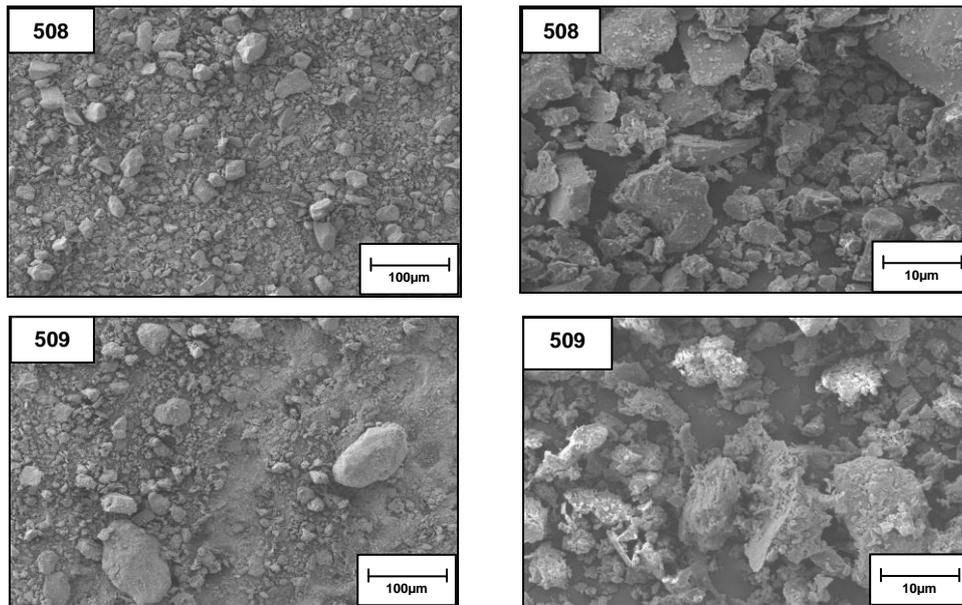


Figura 7. Micrografia das amostras de pó de exaustão da unidade Blocos.

Por se tratar de um resíduo sólido, é importante ter conhecimento da sua classificação segundo normas e legislações ambientais. De acordo com os laudos demonstrados pela empresa geradora deste resíduo, foi possível verificar que os resultados atendem todos os requisitos da Resolução CONSEMA nº26 de 06 de setembro de 2013, podendo assim ser utilizado sem problemas na fabricação de produtos cerâmicos.

CONCLUSÃO

A caracterização química dos pós de exaustão mostrou que o resíduo tem predominância de óxidos de silício, alumínio e ferro, ou seja, este resíduo contém elementos predominantemente encontrados na matriz de cerâmica vermelha. Para este material foi possível identificar a presença de carbono e argila ativa. Estes elementos são responsáveis pela elevada perda ao fogo, o que deve ser controlado quando do uso destes na confecção de corpos cerâmicos.

A difratometria de raios X permitiu a identificação de sílica, predominantemente na forma de quartzo e de bentonita, predominantemente na forma de montmorilonita. A sílica é apresentada no material na forma de grãos arredondados e grosseiros e o argilo mineral e pó de carvão na forma de partículas finas, muitas vezes em aglomerados com formato de placas.

Os dados apresentados mostraram que não existem diferenças entre os materiais disponibilizados pelas diferentes linhas fabris, o que é um indicativo de que todos podem ser utilizados em funções semelhantes. Em especial, no setor

cerâmico, sua composição, comportamento térmico e morfologia de partículas permitem o seu emprego como matéria prima na formulação de produtos cerâmicos.

O pó de exaustão atendeu aos requisitos das normas e legislações ambientais, portanto não há restrição em sua reutilização.

REFERÊNCIAS

1. BILOLO, S. M. Reúso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos. 2005, 162p. Tese (Mestrado em engenharia de minas, metalúrgica e de materiais) - Universidade federal do Rio Grande do Sul, UFRG-PPGEM, Porto Alegre.
2. CARNIN, R. L. P. Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas. 2008, 152p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Paraná, UFPR, Paraná.
3. D'ELBOUX, F. A. Minimização de descarte de areias de fundição. 2000, 158p. Tese (Mestrado em engenharia de produção) - Universidade Metodista de Piracicaba, São Paulo.
4. RIBEIRO, R. A. C *et al.* Utilização de pó de exaustão e areia de fundição no desenvolvimento de cerâmica vermelha. In: 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, 2006.

EXHAUST POWDER ORIGINATED FROM PROCESS FORMING GREEN HOW ALTERNATIVE AS RAW MATERIAL FOR CERAMIC INDUSTRY

ABSTRACT

The process of forming in green sand generates large amount of exhaust powders. These powders contain silica, carbon, iron oxide, and clay, that is, in their composition elements are present predominantly found in raw materials used to produce: bricks, tiles, cement and ceramic tiles. However, the powder exhaust is presented as a powder of very fine particle size and high level of non-plastic materials that can interfere with the performance processing and use of materials in which they are employed. In this work exhaust powders from the same foundry company were characterized. Were evaluated, among others, the chemical composition, mineralogical composition, density, particle size distribution and behavior of calcination. The results showed the feasibility of using these materials for the preparation of ceramic materials.

Key-words: exhaustion powder, green sand, red clay