

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICO-MINERALÓGICA DE MATÉRIAS PRIMAS DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ (POLO CERÂMICO DE SANTA GERTRUDES, SP, BRASIL) VISANDO ORIENTAÇÃO PARA O BENEFICIAMENTO MINERAL

ROVERI, C.D.¹, ZANARDO, A.², MORENO, M.M.T.², ROCHA, R.R.², GODOY, L.H.², ROMERO, E.G.³

¹Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG. carolina.roveri@unifal-mg.edu.br

²Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP. azanardo@rc.unesp.br; mmoreno@rc.unesp.br; roger.rocha@rochaforte.com.br; leticiahirata@gmail.com

³Universidad Complutense de Madrid - UCM. mromero@geo.ucm.es

RESUMO

O Polo cerâmico de Santa Gertrudes, localizado a 140 quilômetros da cidade de São Paulo, usa, na formulação de massas, unicamente matéria-prima da Formação Corumbataí. Esta é moída por via seca em quase todas as cerâmicas, em moinhos de martelos e pendulares. A unidade geológica minerada para fornecimento de argilas é constituída por siltitos, siltitos argilosos, argilitos siltosos e arenitos feldspáticos, bancos calcários e veios de quartzo e/ou carbonato. Visando nortear as etapas de beneficiamento deste minério, importante na fabricação de pisos e revestimentos cerâmicos no maior polo produtor das Américas, foram estudadas quatorze amostras, que contemplam todos os tipos de matérias-primas da unidade, sendo caracterizadas por análises químicas por Fluorescência de Raios X, Difração de Raios X, Microscopia Óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura. Os resultados mostraram que os materiais da base e do topo da unidade apresentam características químico-mineralógicas distintas, que influenciam diretamente as propriedades tecnológicas. As características advêm de: tectônica regional, alteração superficial das rochas, fluidos hidrotermais e distribuição de tamanho de grãos dos minerais. Dessa forma, estas informações podem ser utilizadas para orientar a exploração e beneficiamento dos minérios de argila e blendagem de matérias-primas, visando melhorar a qualidade dos produtos, assim como a variedade de produtos no Polo Produtivo de Santa Gertrudes.

PALAVRAS-CHAVE: matéria-prima; argilas; Santa Gertrudes; propriedades tecnológicas.

ABSTRACT

The Santa Gertrudes' Pole, located 140 kilometers from São Paulo, uses in the formulation of ceramic masses, only raw materials from the Corumbataí Formation. It's ground in hammer and PIG mills. The geological unit for supply of mined clays consists of siltstones, clayey siltstones, silty mudstones and sandstones, limestone banks and veins of quartz and/or carbonate. Aiming to guide the improvement of the processing of this ore, important in manufacturing of flooring and ceramic tile in the biggest producer in the Americas, fourteen samples were studied, which include all types from raw material of this unit, the samples were characterized by X-ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, Optical Microscopy and Scanning Electron Microscopy. The results show that the materials from the base and from the top of the studied unit have distinct chemical-mineralogical characteristics, which directly influence the technological properties. These characteristics come from: regional tectonics, surface alteration of the rocks, hydrothermal fluids and size distribution of mineral grains. Thus, this information can be used to guide the exploitation and processing of mineral clay and blending of raw materials, to improve product quality, and product variety in Santa Gertrudes Production Pole.

KEYWORDS: raw material; clays; Santa Gertrudes; technological properties.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria de revestimentos cerâmicos brasileira observa-se que há uma contínua modernização nas indústrias, sobretudo buscando atualizações em equipamentos para aumento de produtividade e competitividade. Constatou-se, em levantamentos efetuados pela ASPACER, em 2012, que a produção paulista de placas cerâmicas via seca está em torno de 30 milhões de metros quadrados por mês, dos quais 27 milhões são produzidos no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. Este Polo fabricou 450 milhões de m² de placas em 2012, e é o maior das Américas. Este Arranjo Produtivo Local está localizado no interior do Estado de São Paulo (Figura 1), conta com várias dezenas de plantas industriais de placas cerâmicas para revestimento, sendo responsável por cerca de 50% da produção brasileira dessas placas e 90% da produção do Estado de São Paulo (ASPACER, 2012; ANFACER, 2012). Em relação ao setor extrativo mineral, admitindo-se um consumo médio de 1 tonelada de argila para a fabricação de 55 m² de placa cerâmica, estima-se a produção de cerca de 500 mil toneladas/mês de argila para a produção mensal dos 30 milhões de metros quadrados de placas. Toda essa matéria-prima é extraída praticamente da Formação Corumbataí, unidade geológica paleozóica existente em abundância na região do Polo, por cerca de 20 empreendimentos atuais.

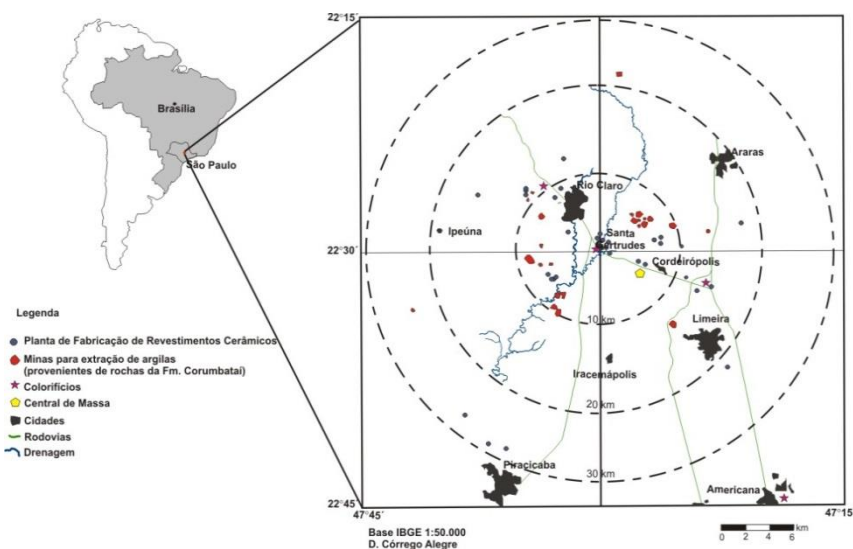


Figura 1. Localização dos principais elementos que compõem o Polo Cerâmico de Santa Gertrudes: fábricas, minas, cidades, etc. (modificado de IPT, 2002).

O surgimento e desenvolvimento do Polo se deram pelo fato de ocorrer na região matéria-prima cerâmica com qualidade especial e em grande quantidade, proveniente da Formação Corumbataí. A região entrou no ramo cerâmico no início do século XX com a manufatura de tijolos e telhas e, a partir da década de 60, passou a produzir “lajotões coloniais”. No início da década de 80, com auxílio de uma indústria de equipamentos italiana, descobriu-se que era possível a produção de revestimentos cerâmicos por moagem a seco, prensagem, esmaltação e monoqueima em fornos a rolo, utilizando apenas matérias-primas locais. Isto levou à mudança no processo produtivo, com a aquisição de tecnologia e equipamentos italianos, possibilitando a produção em grande escala com lucro alto, fato que por um lado acirrou a competitividade e, por outro, possibilitou no início da década de 90 o investimento na melhoria de qualidade e aumento de produção. Estas inovações, apesar de não terem dado a devida importância ao conhecimento técnico da matéria-prima, possibilitaram a queima em ciclos inferiores a 25 minutos e, ao mesmo tempo, novas indústrias e linhas de produção foram instaladas o que aumentou vertiginosamente a capacidade produtiva. Atualmente a lavra é feita a céu aberto, com o uso de tratores, retroescavadeiras, escavadeiras e caminhões. Alguns empreendimentos maiores utilizam caminhões fora de estrada (Figura 2).



Figura 2. Aspectos gerais de uma lavra de argila de médio porte, em atividade há cerca de dez anos, no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (IPT 2002).

O desmonte é realizado com o uso de explosivos leves, como ANFO (*Ammonium Nitrate Fuel Oil*, explosivo leve produzido pela mistura de hidrocarbonetos líquidos com nitrato de amônio) e emulsões encartuchadas. As cavas mais organizadas são divididas em bancadas e têm acompanhamento técnico. Após a extração, a argila passa por um processo de secagem em pátio aberto, em áreas próximas às minas. Este processo vem sendo, nos últimos anos, amplamente condenado, em função de problemas ambientais, relacionados à emissão de particulado (CETESB, 2011). Informações obtidas diretamente com mineradores mostram que o preço da argila por tonelada, como minério *Run Of Mine*, gira em torno de R\$ 15,00. O preço da tonelada da argila como minério *Free on Board* é de R\$ 25,00. No passado, a escolha dos locais para retirada da matéria-prima era feita por meio de tentativa e erro, acarretando em lavras rudimentares, sem registro ou acompanhamento algum. Na atualidade, o Polo aparenta ter atingido um patamar de demanda que está exigindo modificações no modelo existente, fato que tem levado algumas indústrias a abrirem filiais em outras regiões do país, estudos de diversificação de produtos e, conseqüentemente, inovações tecnológicas. Este aspecto é agravado pelo conflito de interesse no uso do solo e pelas crescentes exigências ambientais, especialmente em relação à secagem das argilas em pátios amplos, métodos de exploração e emissões gasosas, aspectos que vêm pressionando o Arranjo Produtivo Local no sentido de conhecer melhor a matéria-prima e, a partir daí, definir os rumos das inovações referentes à prospecção, lavra, regularização dos empreendimentos, moagem, secagem, homogeneização, método de produção e diversificação dos produtos. A quase totalidade das indústrias do Polo utiliza o processo de cominuição denominado “via seca”, utilizando britadores e moinho de martelos e pendulares, cujos corpos básicos (sem receber esmalte de recobrimento) são fabricados exclusivamente com as argilas da Formação Corumbataí produzidas na região. A exceção fica por conta de poucas unidades que fabricam, por via úmida (utilizando moinhos de bolas), placas convencionais e peças especiais, várias empresas de pequeno porte que por via plástica (extrusão, conformação por prensagem e torneamento) fabricam tijolos, lajes, telhas e produtos artesanais (vasos). O processo via seca caracteriza-se pela utilização de massa simples, constituída exclusivamente de argila, que é moída e, então, segue para a umidificação, granulação e prensagem. Da prensagem às etapas finais de produção (decoreação, queima e expedição), o processo é semelhante à via úmida. Na via úmida, se utiliza moinhos de bolas (comumente de alumina ou de seixos de quartzo arredondados), onde a argila é moída na forma de suspensão, denominada barbotina, com cerca de 70% de sólidos. Após esta etapa, a massa moída é seca em atomizadores verticais, que conferem às partículas formato esférico, facilitando a prensagem. O Polo, apesar de um aparente estágio de estagnação tecnológica, em função do alto volume de vendas, vem se conscientizando que necessita conhecer melhor a matéria-prima, adequar-se a normas ambientais e de produto, além de investir em novas tecnologias. O objetivo

disto é apresentar um diferencial marcante em relação a outros produtos existentes no mercado (sejam revestimentos cerâmicos oriundos de outras localidades, rochas ornamentais ou pisos de madeira). Em relação à lavra de argila, os sistemas de extração irregulares vêm sendo sistematicamente banidos, dando espaço a áreas regularizadas. Nos próximos anos, os números divulgados relativos à mineração na região serão mais reais e as minas, com melhores condições de trabalho e segurança e maior número de geólogos e outros profissionais da área trabalhando (DNPM, 2012). Quanto aos aspectos tecnológicos, o melhor conhecimento da Formação Corumbataí levará ao desenvolvimento de novos produtos e/ou mudanças em processos produtivos, como por exemplo, o tipo e moagem. De 2003 a 2006 todas as empresas da região instalaram filtros nas chaminés dos fornos e têm até 2014 para cessar as emissões de flúor provenientes destes (CETESB, 2011). Poderá haver melhoria da moagem a seco, levando à diminuição da granulometria do pó obtido ou migração para a moagem via úmida, em função das questões ambientais, pois esta medida eliminaria os trabalhos de pátio na região. O conhecimento da matéria-prima, aliado ao desenvolvimento tecnológico e observação de tendências internacionais estão impulsionando o Polo a investir no desenvolvimento de produtos, como porcelanato via seca esmaltado, massas pigmentadas e produtos rústicos, o que levará a um aumento do poder de venda das empresas (ASPACER, 2012).

2. MÉTODOS

As amostras escolhidas, representativas de toda a coluna da Formação Corumbataí explorada na região, foram caracterizadas através de análise macroscópica e microscópica. A análise microscópica foi realizada em Microscópio Óptico monocular Leitz (Wetzlar, Sm – Lux Pol, com aumentos de 40X, 100X, 250X e 630X) e em Microscópios Binoculares Olympus D1600 e Zeiss XT200. O método utilizado foi o de luz transmitida e em alguns poucos casos, em função da presença significativa de fases não transparentes, utilizou-se também da luz refletida. A caracterização mineralógica por Difração de Raios X foi realizada em equipamento Siemens D 5000, radiação de Cobre ($WL= 1,5408\text{\AA}$). A velocidade do goniômetro foi definida com passo de 0,05 graus e tempo de exposição de 0,8s por cada passo. A interpretação foi realizada no programa EVA 11.0. As análises geoquímicas de elementos maiores foram realizadas por fluorescência de raios X, em aparelho Phillips modelo PW 2510, usando pastilhas vitrificadas, seguindo os métodos de Nardy *et al.* (1997). As análises químicas de elementos traço foram realizadas pelo Laboratório Acme Labs, no Canadá, pelo método 4B Full Suite, por ICP-MS. As análises por microscopia eletrônica de varredura foram realizadas no “Centro de Microscopia Electrónica Luís Brú”, da Universidad Complutense de Madrid em equipamento JEOL OXFORD SUPERPROBE, modelo JXA 8900M WD/ED Combined Microanalyzer, de 200 kV, com resolução de 3,0 Å. O equipamento apresenta múltiplos espectrômetros de dispersão de energia de raios X Link, modelos AN 20000. O metalizador de grafite utilizado foi de modelo Emitech K 550X.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela I é apresentada a composição química média encontrada nas matérias-primas da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, SP.

Na tabela II são apresentados os dados referentes às 14 amostras direcionadas, que caracterizam os diferentes litotipos, encontrados no minério de argila da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.

Tabela I. Composição química média (%) das matérias-primas cerâmicas da região do PSG.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	Perda ao Fogo
64 a 67%	13 a 17%	4,5 a 6%	1 a 2%	1,5 a 2,5%	0,5 a 2%	1,5 a 2,5%	0,1 a 0,2%	0,5 a 0,8%	0,1 a 0,2%	4 a 6%

Tabela II. Análises químicas das amostras direcionadas.

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Perda ao fogo
CDR-1	66.68	12.16	3.14	0.52	0.08	2.12	2.94	3.42	2.30	0.11	6.54
CDR-2	70.21	13.91	4.82	0.67	0.08	1.60	0.40	2.54	3.25	0.11	2.42
CDR-3	82.93	8.72	0.80	0.38	0.07	0.44	0.74	2.78	1.72	0.14	1.29
CDR-4	71.88	10.43	4.52	0.53	0.07	1.57	2.41	2.19	2.85	1.31	2.23
CDR-5	71.38	11.77	5.11	0.58	0.05	2.36	1.10	2.04	2.92	0.47	2.23
CDR-6	72.64	14.31	3.20	0.68	0.02	1.39	0.33	3.25	2.13	0.10	1.92
CDR-7	66.73	11.57	5.74	0.52	0.05	2.60	2.66	2.92	2.76	0.22	4.24
CDR-8	59.52	13.13	6.19	0.66	0.10	3.30	3.53	3.60	2.88	0.15	6.92
CDR-9	22.65	5.02	1.37	0.19	0.21	10.47	38.45	19.20	0.69	0.07	28.42
CDR-10	66.16	14.00	5.32	0.67	0.14	2.38	1.21	2.49	3.85	0.11	3.67
CDR-11	66.59	14.78	6.43	0.49	0.02	2.13	0.42	2.32	2.30	0.09	4.39
CDR-12	61.71	9.54	2.88	0.39	0.07	4.21	6.01	1.74	1.90	0.14	11.41
CDR-13	71.13	13.40	3.26	0.62	0.03	2.23	0.69	3.61	3.23	0.21	1.59
CDR-14	44.20	14.29	3.50	0.62	0.12	6.00	12.42	0.96	0.94	0.18	16.77

A amostra que apresenta mais baixo teor de sílica é rica em carbonatos, tendo teor de CaO alto e alto teor de Perda ao Fogo (LOI). Os teores de álcalis giram em torno de 3,5% e estão relacionados à presença de feldspatos neoformados e illita. A amostra 14, que se trata de um dique clástico, apresenta cerca de 5% de Na₂O, em função de ser formada por grande quantidade de albita neoformada. Os teores de manganês estão ligados à formação de películas superficiais e os de óxido de fósforo, à presença de coquinas e *bone beds*. Na figura 3 são apresentados alguns aspectos do minério de argila encontrado na região, observados ao microscópio óptico. A granulometria é um fator que varia bastante de amostra para amostra, assim como a presença de óxidos de ferro, feldspatos e carbonatos.

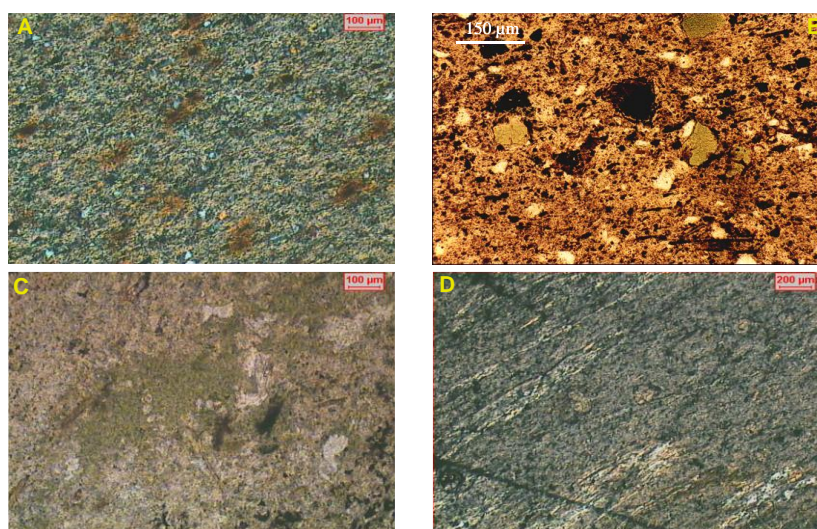


Figura 3. Amostra CDR 1(A) e CDR4 (B), onde são observados argilominerais primários e Amostra CDR 11 (C) e CDR 14 (D), onde se observa argilominerais secundários, em rochas da Formação Corumbataí.

Na figura 4 são observadas algumas feições observadas ao microscópio eletrônico de varredura, das amostras direcionadas, buscando mostrar variedades encontradas na mineralogia das amostras, que influenciam a qualidade do minério.

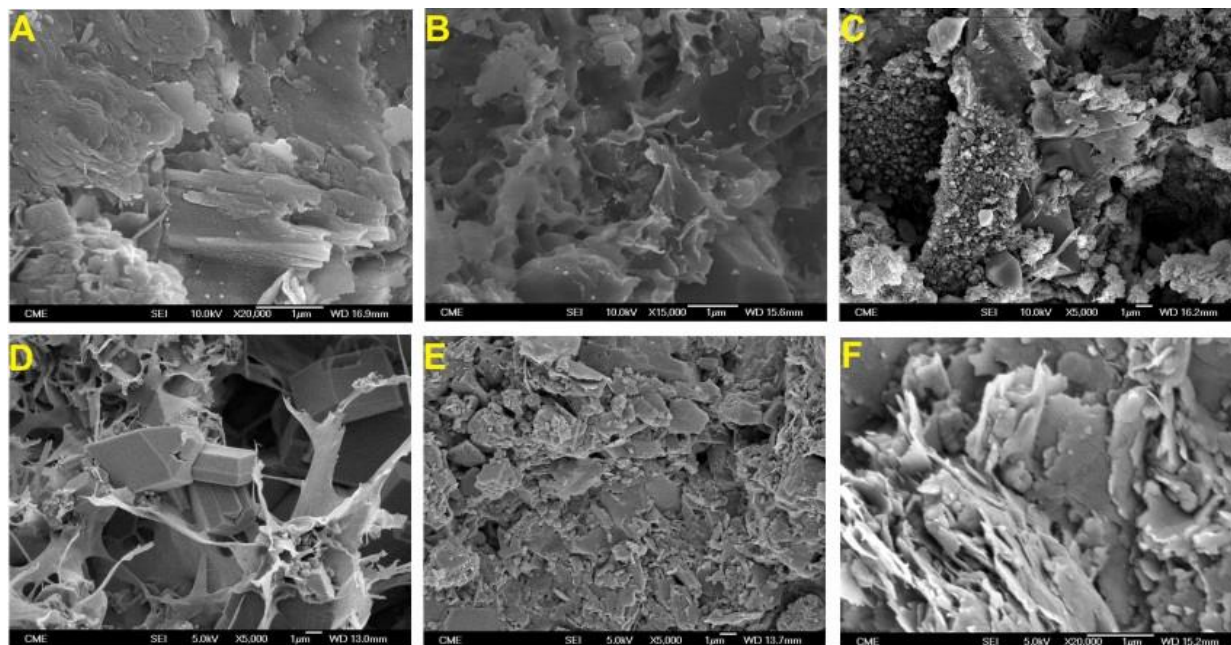


Figura 4. Exemplos de imagens obtidas das amostras: (A) CDR10, região rica em illita; (B) CDR1, possivelmente esmectitas; (C) CDR12, grãos recobertos por argilas e hematita; (D) CDR7, cristais de feldspatos e fibras, que podem ser illita ou paligorskita; (E) CDR8, illitas recobertas por hematita e analcima; (F) CDR9, illitas e esmectitas (ROVERI, 2010).

Na tabela III são apresentadas as fases minerais encontradas nas análises de Difração de Raios X. Estes dados corroboram os dados encontrados nas análises químicas e microscópicas.

Tabela III. Caracterização Mineralógica por Difração de Raios X das amostras.

Fase Mineral	Mineralogia Geral	Mineralogia localizada em algumas camadas
Illita	X	
Quartzo	X	
Albita	X	
Hematita	X	
Analcima		X
Clorita e Interestratificados		X
Fosfatos/Restos Fósseis		X
Barita		X
Carbonatos e Sais		X

4. CONCLUSÕES

De maneira geral as análises realizadas contribuíram para a compreensão de como é o comportamento dos materiais da Formação Corumbataí tanto lateralmente, como verticalmente justificando a necessidade de informações mais precisas para o planejamento de lavra e beneficiamento mineral, facilitando o controle de qualidade das matérias-primas e dos produtos. A

diversidade química encontrada, dentro de certos limites, influencia a fabricação de pisos e revestimentos cerâmicos, uma vez que está diretamente relacionada às reações que ocorrem durante a secagem e queima das peças, sem deixar de considerar que a forma em que os elementos estão ligados nos respectivos minerais é importante para disponibilizar os mesmos para reagir a altas temperaturas. Um dos fatores que qualifica a matéria prima da Formação Corumbataí como excelente é a disponibilidade dos elementos alcalinos a temperaturas relativamente baixas pela albita (Na) e illita (K). A diversidade mineralógica da matéria-prima disponível na região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes influencia diretamente os processos de beneficiamento mineral, pois cada tipo de rocha apresenta propriedades distintas, exigindo uma rota particular de tratamento.

5. AGRADECIMENTOS

À Fapemig e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação da UNIFAL-MG, pelo apoio concedido.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO DAS CERÂMICAS DE REVESTIMENTO DO ESTADO DE SP – ASPACER. 2012. O mercado cerâmico no país e no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. Disponível em: <<http://www.aspacer.com.br>>. Acesso em 30 mai. 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA - ANFACER. 2012. Perspectivas para o Setor Cerâmico Brasileiro. 2008. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. 2011. Diretrizes para a administração de finos na região de Rio Claro – Notícias. Disponível em: <<http://www.cetesb.gov.br>>. Acesso em 05 ago.2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Anuário de mineral 2011: argila. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2005/substancia%20a-e.pdf>>. Acesso em 12 jul. 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. Bases técnicas para o desenvolvimento da indústria mineral do pólo cerâmico de Santa Gertrudes – SP. IPT/SCTDET (Rel. IPT 64.402). 92 p. 2002.

NARDY, A.J.R.; ENZWEILER, J.; BAHIA FILHO, O.; OLIVEIRA, M.A.F.; PENEREIRO, M.A.V. 1997. Determinação de Elementos maiores e menores em rochas silicáticas por espectrometria de fluorescência de raios x: resultados preliminares. Congresso Brasileiro de Geoquímica, 6. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Geoquímica, v.2, p. 346-348.

ROVERI, C.D. Petrologia Aplicada de Rochas da Formação Corumbataí (Região de Rio Claro - SP) e Produtos Cerâmicos. 2010, 190p. Tese (Doutorado em Geologia Regional). IGCE/UNESP, Rio Claro, 2010.

