

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA LAVRA DE QUARTZITOS DA REGIÃO DO SERIDÓ VISANDO A PRODUÇÃO DE CERÂMICA PARA PORCELANATO

Elbert Valdiviezo Viera¹; Marcondes Mendes de Souza², Lígia Mara Gonzaga¹

RESUMO - A indústria cerâmica se destaca pelo seu potencial em coprocessar resíduos em razão de possuir elevado volume de produção, e também pelo fato de que alguns resíduos, aliados às características físico-químicas da matéria-prima e às particularidades do processo produtivo, poderão possibilitar vantagens à indústria e ao processo, tais como, economia e diversificação da oferta de matéria-prima, redução do consumo de energia e, conseqüentemente, redução de custos na sua produção. O termo massa cerâmica consiste em uma mistura de matérias-primas preparadas para a fabricação de um produto cerâmico. Uma massa cerâmica deve possuir as características necessárias para possibilitar um aperfeiçoamento durante o processamento e para a obtenção das propriedades finais requeridas. Na fabricação de peças cerâmicas é bastante comum a mistura de dois ou mais materiais para a composição da massa. Muitos métodos são utilizados para se desenvolver formulações de massas cerâmicas. A maioria desses métodos utiliza técnicas empíricas, e o procedimento consiste basicamente na escolha das matérias-primas e a sua formulação. As massas cerâmicas são formuladas de acordo com alguns fatores dependendo do tipo de processamento e produto final. As massas tradicionais adequadas para fabricação de produtos cerâmicos são geralmente compostas de 50% de materiais não plásticos (quartzo e feldspato) e outros materiais plásticos como argila (caulim). O presente estudo almeja o emprego dos resíduos de quartzitos como matéria-prima na composição da cerâmica, principalmente na substituição de parte dos materiais não plásticos. Esses resíduos têm em sua composição mineralógica um alto percentual de quartzo, e em menor proporção feldspato e mica. As amostras de quartzitos estudadas, cinco em total, com diferentes tonalidades de cor que foram: quartzito branco, quartzito preto, quartzito dourado, verde e rosa, foram caracterizadas através de fluorescência de raios-X (FRX), difração de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Dentre os quartzitos estudados, o dourado e o rosa apresentaram os maiores teores de SiO₂ (acima de 90%) e menores teores de Fe₂O₃ (menos de 1,0 %). Enquanto que os outros quartzitos, principalmente o branco (70,7 % de SiO₂ e 4,3 % Fe₂O₃) e o preto (44,3 % SiO₂ e 25,3 % Fe₂O₃), mostraram baixos teores de SiO₂ e altos teores de Fe₂O₃, não recomendados para a fabricação de massas cerâmicas. A adoção da alternativa de aproveitamento desses resíduos poderá não apenas diminuir o impacto ambiental da mineração de rochas de quartzitos, como também possibilitará a agregação de valor para esse material, principalmente para o uso industrial.

Palavras-chave: Quartzito; resíduos; caracterização; cerâmica.

¹Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia – Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso, 882 – Cidade Universitária, CEP 58109-900, Campina Grande – PB. E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com.

²Gerência de Recursos Naturais – Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Av. Senador Salgado Filho, 1559 – Tirol – Natal-RN.

1. INTRODUÇÃO

O termo massa cerâmica corresponde a uma mistura de matérias-primas preparadas para a fabricação de um produto cerâmico. Uma massa cerâmica deve possuir características necessárias para possibilitar um aperfeiçoamento durante o processamento e para a obtenção das propriedades finais requeridas (Vieira, 2001). Na fabricação de peças cerâmicas é bastante comum a mistura de dois ou mais materiais para a composição da massa. Muitos métodos são utilizados para se desenvolver formulações de massas cerâmicas. A maioria destes métodos utiliza técnicas empíricas, e o procedimento consiste basicamente na escolha das matérias-primas e formulação. As massas cerâmicas são formuladas de acordo com alguns fatores dependendo do tipo de processamento e produto final (Casagrande, 2008).

As massas clássicas adequadas para fabricação de produtos cerâmicos são geralmente compostas de 50% de materiais não plásticos (quartzo, feldspato). Também é usada na formulação, uma argila plástica, que pode ser caulim. O quartzo e o feldspato podem ser provenientes de pegmatitos, que contém na sua constituição mineralógica quartzo, feldspato e mica e outros minerais acessórios. O emprego dos resíduos de quartzitos como matéria-prima cerâmica está baseado na substituição de parte dos materiais não plásticos. Esses resíduos têm em sua constituição um elevado percentual de quartzo, feldspato e mica, entre outros (Morelli, 1999).

Diante do exposto, entendeu-se que há necessidade que as indústrias de mineração de quartzito viabilizem o desenvolvimento de estudos tecnológicos para a gestão dos resíduos sólidos visando a sustentabilidade em relação ao meio ambiente. A aplicação desses resíduos em novos produtos contribuirá sensivelmente para estimular o fortalecimento das empresas mineradoras região nordeste, como de toda a cadeia produtiva.

A adoção da alternativa de aproveitamento desses resíduos poderá não apenas diminuir o impacto ambiental da mineração de rochas de quartzitos, como também possibilitará a agregação de valor para esse material, principalmente para o uso industrial. Este estudo tem como objetivo principal avaliar a potencialidade do uso de resíduos de quartzitos oriundos das indústrias da Paraíba, visando sua aplicação como matéria-prima cerâmica em substituição aos tradicionais minerais como quartzo, feldspato e, eventualmente, outros minerais de pegmatitos.

1.1. Características dos Quartzitos

O quartzito é uma rocha metamórfica constituída por mais de 80% de quartzo. A interpenetração dos grãos de quartzo confere à rocha uma grande tenacidade. É uma rocha dura e compacta, de fratura subconchoidal ou conchoidal e brilho semelhante ao do quartzo. Os quartzitos contém, além do quartzo, proporções variáveis de outros minerais principalmente feldspato, moscovita, e biotita. Os quartzitos em geral são brancos, cinza claro, amarelo ou castanho. Podem, no entanto, ter outras cores devido a grãos microscópicos de minerais acessórios e, assim, serem esverdeados devido à presença de epidoto, azulados devido à cianita, purpúreos devido a hematita, ou clorita, e pretos devido ao grafite, à magnetita, ou a bitoita. Distinguem-se facilmente dos arenitos porque, quando estes últimos se partem, a fratura dá-se pelo cimento, ficando os grãos do quartzo salientes, enquanto nos quartzitos a fratura corta toda a massa da rocha; de alguns calcários, cujo aspecto é semelhante, distinguem-se por serem muito mais duros e por não darem efervescência com ácidos (Pontes *et al.*, 2005).

1.2. Quartzitos da Paraíba

Na Paraíba, a grande concentração de rochas de quartzitos ocorre entre os municípios de Várzea e Junco do Seridó. Em Várzea, abrange a Serra do Poção, que tem cerca de 25 quilômetros de extensão e abriga uma das maiores reservas de quartzito do Brasil. No Estado, os quartzitos são constituídos por quartzo com mais de 75% de SiO₂. As principais áreas mineralizadas de quartzitos na Paraíba estão na Província da Borborema (Figura 1) cujos depósitos se estendem até os municípios de Equador e Ouro Branco no Rio Grande do Norte. Nessas áreas observa-se uma extração intensa de blocos os quais são beneficiados para confecção de lajotas quadradas ou retangulares para aplicação em revestimento de paredes, calçadas, piscinas e em pisos de construção moderna e rústica. A partir da década de 40, a produção dessa rocha cresceu bastante, conquistando cada vez mais novos mercados em Campina Grande, João Pessoa, Natal, Recife, Fortaleza e Salvador, existindo inclusive a possibilidade de inserção no mercado exterior (Souza, *et al.*, 2011).

Entretanto, todo esse crescimento não foi precedido por um estudo de viabilidade técnico-econômico desses depósitos, inexistindo os levantamentos geológicos básicos das áreas mineradas, e as operações de lavra ainda são

realizadas de forma inadequada, causando uma série de impactos ambientais que comprometem o desenvolvimento sustentável na região.

1.3. Resíduos de Quartzitos na Paraíba

A produção mensal de quartzito beneficiado em Várzea é de, aproximadamente, 25 mil m². Pelo menos 25 serrarias trabalham no município, sendo que cada uma beneficia entre 1.000 à 3.000 mil m² de pedras por mês. Cada m² de quartzito beneficiado é comercializado, em média, a R\$ 15,00. Nas serrarias, as placas de quartzito são transformadas em lajes quadradas ou retangulares, de larguras padronizadas e comprimento livre, de forma a propiciar o seu maior aproveitamento. As aparas maiores são serradas gerando os filetes. Estes são os produtos de maior valor agregado e são destinados, em sua maioria, ao mercado interno e uma pequena parcela ao mercado externo. Nessa fase do beneficiamento são gerados dois rejeitos, um mais grosseiro (aparas e lascas) que é misturado aos da pedreira, e um extremamente fino, proveniente do desbaste da rocha durante o processo de corte com máquinas de disco ou multidisco. A importância do setor de rochas para a economia do Estado e do Brasil é indiscutível, porém esses resíduos gerados são dispostos de forma inadequada no meio ambiente, sem previsão de utilização ou aproveitamento (Figura 1) (Souza, *et al*, 2011).



Figura 1– Fotografia mostrando o impacto ambiental da indústria de mineração de quartzitos em Várzea-PB.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os materiais usados neste estudo são amostras de rejeitos provenientes da serragem de quartzito da Paraíba. Foram selecionadas e coletadas cinco amostras de rejeitos cuja identificação foi estabelecida pela cor do quartzito (Figura 2). Esses rejeitos são provenientes da empresa Serraria Pedra Itacolomy Ltda, localizada na Rodovia Anísio Marinho, s/n, Distrito Industrial, Várzea – PB. As amostras foram coletadas na forma de placas e filetes, colocadas em sacos plásticos, e devidamente identificadas.

TIPOS DE QUARTZITOS



Figura 2 – Detalhe dos cinco tipos de quartzitos, de coloração diferente, selecionados para estudo.

2.2. Métodos

Preparação de amostras: O material ainda bruto foi fragmentado até a obtenção da granulometria adequada para a moagem. Essa etapa foi desenvolvida utilizando-se um moinho de porcelana de laboratório, no qual foi colocado junto ao material 40 bolas de alumina e moído durante 40 min. Ao término da moagem o material foi peneirado manualmente obtendo-se 100 % de material passante em 200 malhas.

Caracterização de amostras: O material foi dividido em alíquotas da qual foi retirada uma fração de 5g de cada uma das amostras para os ensaios de caracterização. Os ensaios de fluorescência de raios-X (FRX) foram realizados em um equipamento Shimadzu, modelo XRF-1800, EDX 720. Os ensaios de difração de raios-X (DRX) foram realizados num aparelho XRD 7000 nos laboratórios do IFRN. Os ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizados em um equipamento Shimadzu, modelo SSX 550, na CTGÁS/RN.

Ensaio de fusibilidade: As amostras dos quartzitos, em granulometria menor que 200 malhas, foram preparadas para realização de ensaios de fusão. Nesse ensaio foi usada um forno com aquecimento até 1.250 °C. Previamente o material era umedecido com água e colocado no cadinho para compactação. Em seguida, o corpo de prova ou cone era retirado e colocado cuidadosamente sobre uma placa refratária e daí para o forno, já na temperatura desejada. A temperatura dos ensaios foi 1.170 °C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Composição Química

O conhecimento da composição química e mineralógica dos quartzitos fornece informações relevantes para a avaliação de seus usos específicos em cerâmica, e em outras aplicações, quando usada em combinação com as propriedades físicas. A Tabela I mostra os resultados das análises de FRX das amostras de quartzito de cores: branco, dourado, preto, rosa e verde.

Os teores de sílica (SiO_2), demonstra o caráter essencialmente quartzoso das amostras. Os valores mais elevados (acima de 90%) foram registrados nas amostras de quartzito dourado e rosa. O teor mais baixo de sílica (44,32%) foi observado na amostra de quartzito preto. O segundo óxido em importância provindo da presença do feldspato e da mica é a alumina (Al_2O_3), cujos teores variam de 4.32% (quartzito rosa) a 13.70% (quartzito preto).

Da mesma forma o óxido de potássio (K_2O), terceiro maior óxido encontrado nas amostras é decorrente da presença da mica e do feldspato. Os seus teores variam de 1.91% (quartzito rosa) a 9.79% (quartzito branco). O teor mais elevado de TiO_2 de 1.88% foi constatado na amostra de quartzito preto, a presença de titânio deve estar

associado a presença do rutilo TiO_2 . O teor de MgO nas amostras de quartzito branco foi de 0,92% e no quartzito preto de 3,88%. Sua presença deve estar associada a filossilicatos, principalmente a clorita $(\text{MgAlFe})_{12}(\text{SiAl})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$.

Tabela I – Composição química dos quartzitos de cores: branco, dourado, preto, rosa e verde.

Óxidos (%)	Quartzito branco	Quartzito dourado	Quartzito preto	Quartzito rosa	Quartzito verde
SiO_2	70,73	91,21	44,32	91,35	81,21
Al_2O_3	12,19	5,03	13,70	4,32	9,83
K_2O	9,79	2,04	5,02	1,91	5,53
Fe_2O_3	4,39	0,93	25,33	0,99	2,87
BaO	0,99	--	0,79	--	--
MgO	0,92	--	3,88	--	--
CaO	0,45	--	3,96	--	--
TiO_2	0,40	0,22	1,88	0,26	0,44
Rb_2O	0,09	--	0,06	--	0,04
SrO	0,03	--	0,24	--	--
Y_2O_3	0,02	--	0,03	--	--
WO_3	--	0,17	--	--	--
ZrO_2	--	0,05	0,21	--	--
MoO_2	--	0,03	--	--	--
CuO	--	0,03	--	--	--
MnO	--	--	--	--	--
Cl	--	0,30	--	0,40	--
P_2O_5	--	--	0,14	--	--
SO_3	--	--	--	0,77	--
ZnO	--	--	0,07	--	0,03
Cs_2O	--	--	--	--	0,06
Au_2O	--	0,02	--	--	--

Os teores de Fe_2O_3 refletem o conteúdo total de ferro das amostras. Os valores mais elevados de Fe_2O_3 foram encontrados na amostra de quartzito preto com 25,33 %. Esse valor é muito elevado para o uso em massa cerâmica, podendo inclusive ocorrer oxidação da peça. Em todos os demais resultados os teores de óxido de ferro variam de 0,93% (quartzito dourado) a 4,39 % (quartzito branco). A presença de ferro deve-se provavelmente a presença de biotita, ou de turmalina e outros minerais opacos.

3.2. Composição Mineralógica

Os resultados de DRX mostraram que a composição mineralógica dos quartzitos é a seguinte: O quartzito branco é composto por quartzo, moscovita, e feldspato (microclínio). No quartzito dourado há quartzo, moscovita, e microclínio. O quartzito preto é constituído de quartzo, biotita, albita e clorita. O quartzito rosa por quartzo, moscovita, e feldspato (ortoclásio). O quartzito verde é composto de quartzo e moscovita.

As análises de DRX realizadas com cada amostra dos quartzitos, constatou os picos de difração característicos de fases cristalinas referentes ao quartzo (SiO_2) que é o mineral responsável pelo desenvolvimento de plasticidade na conformação da massa cerâmica. A presença da mica moscovita ($\text{KA}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OHF})_2$) também foi verificada, que é um mineral de textura lamelar, e que em fina granulometria pode atuar como material fundente, devido a presença de óxidos alcalinos (feldspato microclínio e feldspato ortoclásio), facilitador da formação da fase líquida de grande importância durante a sinterização das peças durante a queima. Observou-se também a presença de outros minerais que, devido à sua pequena proporção, não puderam ser identificados.

3.3. Microscopia Eletrônica de Varredura

Os estudos de MEV foram realizados com uma amostra do rejeito gerado pelas máquinas de corte após o beneficiamento do bloco de quartzito. A Figura 3 mostra a micrografia obtida com detector de elétrons secundários,

nas quais observa-se a morfologia e o relevo superficial das partículas. Nessa figura, observa-se que os níveis de cinza podem ser relacionados a cada fase mineral. As imagens com tonalidade mais escura correspondem ao quartzito, à mica, ou ao feldspato, e as mais claras, tratam-se de outros minerais, ou contaminantes, possivelmente biotita com alto teor de ferro ou ao ferro metálico, proveniente da serragem ou corte dos blocos. A escala mostrada na micrografia, permite medir as partículas de ferro metálico ou de biotita (fase mais clara), que apresentam um tamanho de aproximadamente de 1 micrômetro.

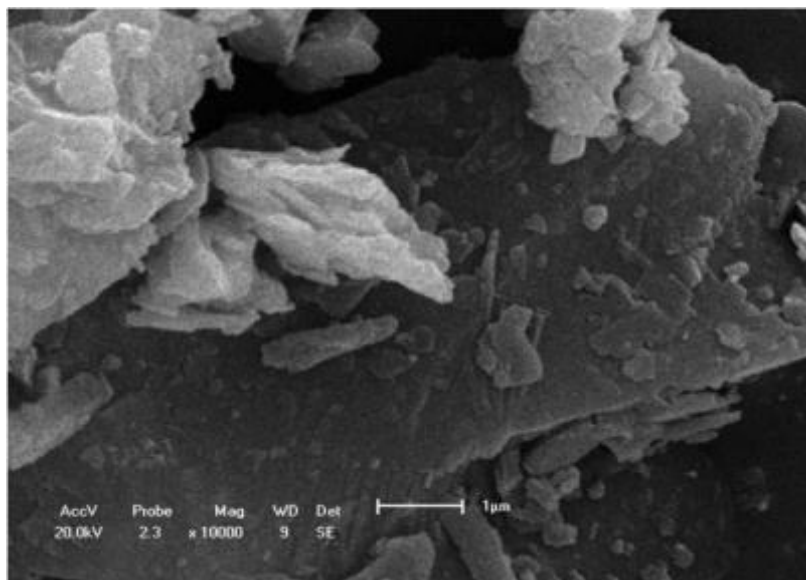


Figura 3 – Micrografia das partículas que compõem o rejeito gerado após o beneficiamento dos quartzitos.

3.4. Ensaios de Fusibilidade

O ensaio de fusão realizado com a amostra de quartzito branco resultou em uma massa de cor escuro, em relação à cor do material antes do ensaio (Figura 4). Essa mudança de cor e brilho se deveu à presença de micas, principalmente de biotita, cuja temperatura de fusão é inferior à do quartzo. Além disso, observou-se uma maior retração térmica do corpo de prova ou cone. A retração térmica é a variação da altura do cone antes e após a fusão do material. Nessa figura observa-se que, o quartzito dourado, formou uma massa homogênea, com pouca variação da retração térmica e de sua cor, após o ensaio.

O quartzito rosa apresentou um comportamento semelhante ao do quartzito dourado, isto é, com pequena variação da retração térmica e de sua cor, após a fusão (Figura 5). Esse resultado obtido com quartzito dourado e rosa era esperado, já que os mesmos apresentam teores de SiO_2 maiores que 90 % e teores de Fe_2O_3 menores que 1,0 %.

O ensaio de fusibilidade realizado com o quartzito verde (Figura 6) resultou em uma massa homogênea, com pouca retração térmica, e a cor após o ensaio é um pouco mais escura, em relação à sua cor antes da fusão. O ligeiro escurecimento da amostra deve-se provavelmente à fusão de minerais micáceos, como a biotita. A Figura 7 apresenta o resultado da fusão do quartzito preto, observa-se a fusão completa da amostra, devido à presença da biotita que nessa temperatura de realização do ensaio atingiu o seu ponto de fusão. O teor de Fe_2O_3 nessa amostra é de 25,33 %.



Figura 4 – Ensaio de fusibilidade com amostras de quartzito branco e quartzito dourado.



Figura 5 – Ensaios de fusibilidade com amostras de quartzito rosa.

As massas utilizadas na indústria cerâmica tradicional são de natureza heterogênea, geralmente constituídas de materiais plásticos (argila) e não plásticos (quartzo e feldspato), com uma ampla gama de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens significantes. Este ensaio verificou o potencial de substituição parcial ou completa do quartzo pelo rejeito de rocha de quartzito gerado no beneficiamento, sendo que o quartzito rosa e o dourado seriam os recomendados para a realização da formulação da massa e ensaios de conformação e sinterização, respectivamente (Morelli, 1999).



Figura 6 – Ensaio de fusibilidade com amostras de quartzito verde.



Figura 7 – Ensaio de fusibilidade com amostras de quartzito preto.

Na composição da massa cerâmica, a argila constitui a base do corpo cerâmico, o quartzo é o ingrediente que dá a estrutura ou esqueleto a esse corpo cerâmico, e o feldspato é o ingrediente que forma a fase vítrea (fundente). Em geral, a formulação de uma massa é de 40% de argila (caulim), 40 % de quartzo e 20 % de feldspato, mas essas proporções variam bastante, em função do tipo de aplicação. Em alguns casos, a proporção de quartzo pode alcançar até 50 % e os outros componentes o restante. (Menezes *et al*, 2002).

4. CONCLUSÕES

Os ensaios realizados com os cinco tipos de quartzitos mostraram que as amostras de quartzito dourado e rosa apresentaram a menor concentração de óxido de ferro (Fe_2O_3), que foi de 0.93 % e 0.99 %, respectivamente. Esses quartzitos apresentaram um potencial importante e poderá ser recomendada sua utilização como matéria prima para a indústria cerâmica. Os quartzitos de coloração branca, verde e preto por apresentarem teores de ferro acima do ideal, não seriam indicados para uso na formulação de massa cerâmica, entretanto os mesmos podem ser utilizados para outras aplicações, como material para revestimento de muros internos e externos.

Com relação à composição mineralógica, os quartzitos são constituídos principalmente de quartzo, mineral predominante, mica (moscovita ou biotita) e feldspato (microclínio, albita, ou ortoclásio). O tipo de mineral, sua proporção ou concentração, definem as diferentes tonalidades do quartzito.

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram a possibilidade de utilização do resíduo do beneficiamento do quartzito na fabricação da massa cerâmica. Como sugestão os resíduos de quartzitos estudados podem ser utilizados para fabricação de argamassa, pré-moldados, mosaicos, entre outros, como uma alternativa para minimizar o impacto ambiental gerado por esse tipo de rejeito.

5. AGRADECIMENTOS

Ao MCTI/FINEP pelo apoio financeiro. Ao CETEM/MCT pelo apoio técnico. Ao Coordenador Geral do projeto “Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzitos” Dr. Francisco Wilson Hollanda Vidal. À ATECEL pelo logístico prestado. Ao Marcos Magalhães do SEBRAE/PB. Ao Marcelo Falcão da SETDE/PB. Ao Prof. Antônio Pedro Ferreira de Sousa e ao graduando da UFCG Ranieri Pereira.

6. REFERÊNCIAS

- Casagrande, M.C. 2008. Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico. *Cerâmica Industrial*, 13 (1/2) Janeiro/Abril.
- Menezes, R. R.; Neves, G. A.; Ferreira, H. C. 2002. O Estado da Arte sobre o Uso de Resíduos como Matérias-primas Cerâmicas Alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 6, n. 2, p. 303-313.
- Morelli, M. 1999. Fundamentos da Formulação de Materiais Cerâmicos. UFScar/UNESP, São Paulo, 15 a 16 de julho, 82p.
- Pontes, I.F.; Cardoso, F.W.H. 2005. Valorização de Resíduos de Serrarias de Mármore e Granito e sua Aplicação na Construção Civil: V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste.
- Souza, M.M, Felipe, L.C.O, Viera, E.V, Neves, G.A, Souza, J.B.M. 2011. Caracterização Tecnológica de Resíduos de Quartzitos da Paraíba e Rio Grande do Norte Visando seu Aproveitamento na Indústria Cerâmica. Anais do 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho, Porto de Galinhas, PE.
- Vieira, C. M. F.; Monteiro, S. N.; Filho, J. D. 2001. Formulação de Massa de Revestimento Cerâmico com Argilas Plásticas de Campos dos Goytacazes (RJ) e Tanguá (SP). *Cerâmica Industrial*, Novembro/Dezembro.