

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS NAS INDÚSTRIAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

I. F. Pontes¹, A. Stellin Júnior²

1 - Eng. de Minas, D.Sc., Pesquisador, Serviço de Tratamento de Minérios e Usina Piloto
Centro de Tecnologia Mineral - Av. Ipê, 900, Ilha da Cidade Universitária, CEP.21941-590, Rio de Janeiro, RJ-Brasil
E-mail: ifalcao@yahoo.com.br

2 - Eng. de Minas, D.Sc., Prof. Titular, Departamento de Engenharia de Minas - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo -
Av.Prof.Mello Moraes, 2373 - Cidade Universitária, CEP. 05508-900, São Paulo, SP-Brasil
E-mail: astellin@usp.br

RESUMO

O presente estudo apresenta as rotas pesquisadas em escala de laboratório utilizando amostras de resíduos provenientes de teares de serrarias, e gerados durante a etapa de serragem de blocos de mármore e granitos. As amostras foram coletadas na empresa MARBRASA, situada no município de Cachoeiro de Itapemirim – Estado do Espírito Santo.

O objetivo da pesquisa foi estudar a viabilidade técnica de purificação da amostra através da remoção do Fe contido nos resíduos de serrarias de mármore e granitos (pó de teares) possibilitando, assim, a sua utilização na indústria de cerâmica. Foi estudada numa segunda fase a utilização dos resíduos em cerâmica vermelha, para produção de tijolos, telhas e lajotas.

A primeira fase foi desenvolvida no CETEM, e consistiu de purificação da amostra, pela redução do teor de Fe, utilizando-se diferentes rotas de beneficiamento, partindo-se de um rejeito com 4,64% de Fe, foi possível obter concentrado com 3,2% de Fe, efetuando-se apenas um corte com peneira de 150 malhas, isto porque grande parte da granalha (substância abrasiva), composta de Fe, possui granulometria grossa (>150#). Esse descarte representa uma perda de apenas 12% em massa. Foram realizados estudos preliminares de separação magnética de baixa intensidade com a utilização do Tubo Davis e do separador magnético de tambor, obtendo-se reduções do teor de Fe de 56,3% e 29,3%, respectivamente. Nos estudos de separação magnética de alta intensidade, foram utilizados o separador magnético Boxmag Rapid e o separador contínuo, tipo Carrossel, modelo CF-5 da Eriez Magnetics, obtendo-se reduções do teor de Fe de 75,9% e 34,7%, respectivamente. Nos estudos de concentração gravítica realizados em mesa vibratória, obteve-se uma redução do teor de Fe de 32%. Nos estudos de ciclonagem obteve-se uma redução do teor de Fe de 28,57%. Esta última rota deve ser melhor estudada, por ser mais viável economicamente, devido aos baixos custos de investimento e operacional.

Os estudos de aplicações industriais na Construção Civil, para uso do resíduo na indústria de cerâmica; cerâmica vermelha (telhas, tijolos e lajotas); blocos estruturais e piso para pavimentação; e argamassas, foram realizados na UFCE, NUTEC, empresa de construção civil JOTADOIS em Fortaleza – CE, e laboratórios de arquitetura da UFRJ. Os resultados obtidos foram considerados promissores.

PALAVRAS CHAVE: RECICLAGEM, UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS, APROVEITAMENTO DE FINOS

1. INTRODUÇÃO

No Estado do Espírito Santo, os resíduos industriais gerados nas serrarias com teares de lâminas ou diamantados são, geralmente, depositados em barragens de rejeito improvisadas, ou vão sendo acumulados ao redor dessas serrarias ao longo do tempo. Em seguida, os resíduos são costumeiramente lançados ao meio ambiente, em locais inadequados, principalmente em áreas ainda próximas às serrarias. Em alguns casos, esses resíduos são jogados diretamente no rio Itapemirim, causando assoreamento do mesmo, poluindo sua água, e gerando assim grande impacto ambiental, acarretando conflitos com órgãos ambientais e populações vizinhas. Os empresários alegam falta de áreas para disposição desses resíduos. A comunidade vizinha é prejudicada pela poluição dos cursos d'água. Os órgãos de fiscalização agem, aplicando multas e restringindo, ou paralisando as atividades das serrarias, atividades estas muito importantes para a economia da região.

Um grande desafio na atualidade é o aproveitamento de forma racional de resíduos provenientes de processos industriais, operações de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais.

Ao transformar matérias - primas, de modo a torná-las úteis para a sociedade, o homem produz quantidades apreciáveis de resíduos que no momento, em que são produzidos, são inúteis e que, ao longo do tempo, acabam por comprometer o meio ambiente (FELLENBERG, 1980).

Segundo SILVA (1998), a necessidade de cumprir às exigências de manejo e disposição de resíduos sólidos gerados nas atividades industriais, vem sendo imposta, nas duas últimas décadas, seja pelas leis ambientais ou movimentos ecológicos em todo o mundo, tomando – se um grande desafio para os sistemas produtivos.

Neste contexto, a industrialização de rochas ornamentais necessita se conscientizar da responsabilidade de fazer mineração auto-sustentável, ou seja, com respeito ao meio ambiente e à comunidade.

O Brasil, grande detentor de reservas de mármore e granitos, necessita definir metas para que sirvam como exemplos e inovações internacionais. É de fundamental importância a implantação de uma política que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais e a utilização de novas tecnologias.

O Estado do Espírito Santo, em decorrência da sua posição geográfica privilegiada e da infra-estrutura de ferrovias, rodovias e portos disponíveis em seu território, figura como principal polo industrial brasileiro de rochas ornamentais, contribuindo para o crescimento do intercâmbio comercial entre o Brasil e outros países (SILVA, 1998).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o de tentar minimizar o impacto ambiental, causado pelo pó de teares de mármore e granito, mediante o aproveitamento e valorização deste pó que é produzido e descartado pelas serrarias do Estado do Espírito Santo.

A parte metálica (Fe) do resíduo, constituída pela granalha, pode ser recuperada e reutilizada para outro fim. Os minerais constituintes do resíduo (pó de serraria) podem ser usados para fins mais nobres, na indústria cerâmica, e de construção civil (argamassa de assentamentos, argamassa de revestimento interno e externo etc.).

3. AMOSTRAGEM

A MARBRASA acumula seus rejeitos em uma barragem. Periodicamente, esta é secada e os rejeitos acumulados são removidos por retro-escavadeira e caminhão, e transportados para o bota-fora.

A amostragem foi realizada nessa barragem de rejeitos, na qual existe um tubo por onde ocorre a descarga da lama, por meio de um jato muito forte e intermitente. Essa lama é proveniente dos teares da serraria, FIGURAS 1 e 2.



FIGURA 1 - Descarga da lama na barragem



FIGURA 2 - Amostragem no tubo de descarga

Parte da amostra foi coletada no tubo de descarga da lama, e o restante da coleta foi realizado próximo às margens da barragem de rejeito, com a utilização de uma enxada. No tubo de descarga da lama, a coleta foi realizada com auxílio de uma caneca.

A amostra de resíduo (lama) foi acondicionada em oito (8) sacos plásticos, que totalizaram 307 kg, os quais foram devidamente lacrados para evitar perda de material e contaminação durante o transporte. A amostra foi colocada em dois tambores e encaminhada ao CETEM / RJ, visando os estudos de caracterização e beneficiamento.

Preparação da amostra

Foi realizada a desagregação do material, utilizando-se peneira de 48 malhas. Com a amostra desagregada foi construída uma pilha de homogeneização e realizado o quarteamto, com retirada de alíquotas, para os estudos de caracterização química e mineralógica; concentração gravítica em mesas; separação magnética de alta e baixa intensidade; e estudos de ciclonagem, conforme mostra o fluxograma apresentado na Figura 3.

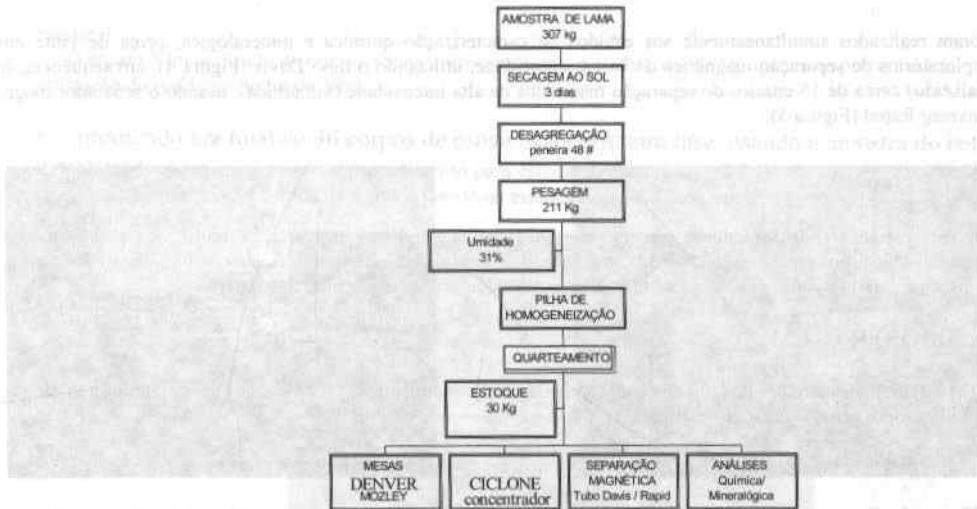


Figura 3 Fluxograma da preparação da amostra

Caracterização Química e Mineralógica

A caracterização mineralógica do resíduo foi realizada através de análises ao microscópio óptico, para a determinação de todos os minerais presentes no resíduo.

Esses estudos foram complementados por análises mineralógicas através de difração de Raios X e análises químicas, em amostras do resíduo obtidas no decorrer da pesquisa.

Foram realizadas análises químicas, via úmida, do resíduo, para Fe total e os óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , MnO , TiO_2 , e Perda ao Fogo, bem como, análise semi-quantitativa, através de espectrografia óptica de emissão. Os resultados obtidos estão apresentados nas tabelas I e II. Os resultados obtidos nas análises química são mostrados na tabela I. Foram observados MgO e CaO provenientes do mármore (Tabela I). Os resultados da caracterização mineralógica confirmaram a presença de dolomita característica do mármore (Tabela II).

Tabela I – Análise química do resíduo

ÓXIDOS	(%)
SiO_2	35,5
Al_2O_3	8,22
Fe_2O_3	6,63
TiO_2	0,96
K_2O	3,44
MgO	6,59
MnO	0,08
CaO	12,62
Na_2O	3,15
Perda ao Fogo	14,5

Tabela II – Caracterização mineralógica do resíduo obtida por difração de raios X

MINERAIS	(Peso %)
Dolomita	29
Quartzo	14
Albita	11
Anortita	15
Microclínio	21
Biotita	1
Anfibólio	< 1
Outros	9
TOTAL	100

4. SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DE BAIXA E ALTA INTENSIDADE

Foram realizados simultaneamente aos estudos de caracterização química e mineralógica, cerca de vinte ensaios exploratórios de separação magnética de baixa intensidade, utilizando o tubo Davis (Figura 4), em seqüência, foram realizados cerca de 15 ensaios de separação magnética de alta intensidade (via úmida), usando o separador magnético Boxmag Rapid (Figura 5).



Figura 4 – Separador Magnético Tubo Davis

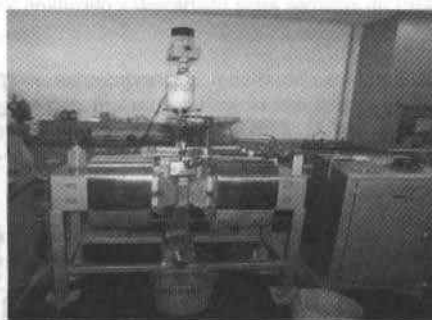


Figura 5 Separador Magnético Boxmag Rapid

O campo magnético utilizado durante os ensaios variou entre 8.000 e 16.000 Gs; a matriz usada foi a de lâ de aço. A alimentação do equipamento foi com polpa contendo 10% de sólidos, correspondente a 200g de massa seca de sólidos. A granulometria de alimentação do equipamento foi com material abaixo de 150 malhas (0,104mm).

Estudos de Aplicação do Resíduo na Industrial Cerâmica

Foram encaminhados à Divisão de Tecnologia Mineral do NUTEC / Fortaleza / CE, 40 kg de material, sendo 10 Kg de amostra beneficiada com teor de 0,7% Fe, 10 kg de amostra beneficiada com teor de 3,2% Fe e 20 kg de amostra não beneficiada com teor de 11,84% Fe, visando estudar utilizações mais nobres do resíduo, nas indústrias de construção civil e cerâmica, possibilitando agregação de valores.

Os ensaios iniciais visaram o aproveitamento do resíduo na indústria de cerâmica vermelha, para produção de tijolos maciços, tijolos vazados, telhas, lajotas etc. Na construção civil, os estudos foram dirigidos para a produção de blocos estruturais. Estes ensaios são padronizados pelas normas brasileiras da ABNT. Os tipos de ensaios realizados foram: retração; módulo de ruptura; granulometria; absorção de água.

A argila utilizada como aglomerante do resíduo foi proveniente da Cerâmica Cascavel S.A., localizada na região metropolitana de Fortaleza e foi moída num moinho de bolas de porcelana, sendo a mesma colocada a uma granulometria abaixo de 20 malhas

Ensaio 1

Preparou-se uma mistura com 90% de argila e 10% do resíduo não beneficiado. Em seguida, este material foi molhado com cerca de 10% de água e colocado num molde, onde foi prensado com uma força compressiva de 2,5 toneladas. A partir da mistura anterior, foram produzidos 12 corpos de prova, conforme mostra a Figura 6. Em seguida, os corpos de prova foram colocados na temperatura ambiente para secar por 24 h, visando aumentar a resistência mecânica. Estes corpos de prova, foram secados ou queimados, conforme é mostrado a seguir, visando avaliar a retração, absorção de água, cor de queima e resistência à flexão (módulo de ruptura).

4 corpos de prova	secados a 70° C
4 corpos de prova	queimados a 900° C
4 corpos de prova	queimados a 1.100° C

Ensaio 2

O ensaio 2 foi realizado da mesma forma que o ensaio 1, apenas ocorrendo mudança na percentagem de utilização do resíduo, que neste caso foi de 20%.

Ensaio 3

O ensaio 3 foi realizado da mesma forma que os ensaios 1 e 2, diferenciando apenas no percentual de utilização do resíduo, que foi de 30%.

Foi produzido um total de 36 corpos de prova nesta primeira fase, usando a amostra do resíduo não beneficiado. Adotou-se o mesmo procedimento para estudar a amostra beneficiada, ou seja, contendo baixo teor de Fe. Foram preparados 36 corpos de prova, visando os estudos de queima e medição de resistência à flexão, e absorção de água (Figura 6).

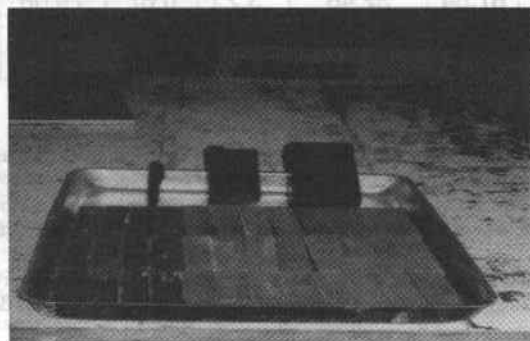


Figura 6-Corpos de prova para medição da Resistência à flexão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da separação magnética usando o Tubo Davis estão mostrados na Tabela III.

Tabela III – Resultados da separação magnética usando o tubo Davis

Teste Nº	Campo Mag. (Gauss)	Distribuição Massa (% Peso)		Fe (%)		% de remoção de Fe
		Não Mag.	Mag.	Mag.	Não Mag.	
1	1550	96,63	3,37	43,3	1,6	50,0
2	1700	96,59	3,41	48,3	1,6	50,0
3	1800	96,45	3,55	46,5	1,6	50,0
4	2000	96,24	3,76	40,8	1,5	53,1
5	2100	95,88	4,12	15,8	1,4	56,3
6	2300	94,41	5,59	34,2	2,5	21,9
7	3200	94,50	5,50	51,9	2,5	21,9
8	3800	94,38	5,62	43,1	2,2	31,3

Os melhores resultados obtidos nos estudos de separação magnética de alta intensidade foi com a utilização do separador magnético Boxmag Rapid. As condições operacionais utilizadas nesses ensaios estão apresentadas na tabela IV. Nesta fase foi possível remoção de cerca de 75% de ferro.

Tabela IV Resultados da separação magnética usando o separador Boxmag Rapid

Teste Nº	Campo Mag. (Gauss)	Distribuição Massa (% Peso)		Fe (%)		% de remoção de Fe
		Não Mag.	Mag.	inicial	Final	
1	8.000	75,83	24,17	3,2	1,2	62,5
2	10.000	68,34	31,66	3,2	0,77	75,94
3	12.000	67,89	32,11	3,2	1,4	56,25
4	14.000	67,88	32,12	3,2	1,1	65,62
5	16.000	67,54	32,46	3,2	0,67	79,06

Comentários sobre a aplicação industrial

1. O resíduo beneficiado pode ser utilizado em até 30% nas formulações de massa para cerâmica vermelha.
2. Face sua granulometria, o resíduo beneficiado pode substituir com vantagens a argila grosseira que os ceramistas normalmente misturam com sua argila mais fina para diminuir a plasticidade.
3. O resíduo não beneficiado traz problemas para obtenção da resistência mecânica mínima a 900°C nas proporções de 20 e 30 %.
4. Apesar do resíduo não beneficiado atender aos requisitos a 1100°C, ele apresenta defeitos superficiais e internos do tipo coração negro que inviabilizam o seu uso em formulações de peças de cerâmica vermelha.

Tabela V - Amostra beneficiada e seca a 70°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)
Resíduo 10%	61,48	2,44
Resíduo 20%	51,39	2,03
Resíduo 30%	40,48	1,39

Tabela VI-Amostra beneficiada e queimada a 900°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)	Absorção de água (%)
Resíduo 10%	61,48	2,44	10,13
Resíduo 20%	51,39	2,03	10,33
Resíduo 30%	40,48	1,39	12,20

Tabela VII-Amostra beneficiada/queimada a 1100°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)	Absorção de água (%)
Resíduo 10%	303,34	9,20	0,32
Resíduo 20%	317,54	8,72	0,30
Resíduo 30%	361,43	8,61	0,19

RESULTADOS COM AMOSTRAS NÃO BENEFICIADAS

Tabela VIII - Amostra não beneficiada e seca a 70°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)
Resíduo 10%	59,06	1,99
Resíduo 20%	45,78	1,39
Resíduo 30%	39,61	1,04

Tabela IX-Amostra não beneficiada e queimada 900°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)	Absorção de água (%)
Resíduo 10%	78,23	2,95	9,27
Resíduo 20%	57,97	2,04	10,09
Resíduo 30%	48,65	1,73	10,37

Tabela X-Amostra não beneficiada e queimada 1100°C

Ensaio	Módulo de Ruptura (Kgf/cm ²)	Retração de secagem (%)	Absorção de água (%)
Resíduo 10%	225,34	7,89	1,45
Resíduo 20%	209,29	7,35	1,21
Resíduo 30%	193,16	7,02	1,11

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos possibilitaram as seguintes conclusões:

1. Existe viabilidade técnica de se purificar o resíduo através da separação magnética de alta intensidade. Tal processo foi capaz de remover o Fe em até 75%, reduzindo o teor de 3,2% para 0,7%, viabilizando a sua utilização em usos mais nobres.
2. Os estudos de purificação com o ciclone necessitam ser aprofundados, pois apesar dos resultados obtidos (remoção de 30% Fe) serem inferiores aos da separação magnética, estes resultados poderão ser melhorados. Além disso, esta rota apresenta baixos custos de investimento e operacional.
3. Os resultados para uso do resíduo na cerâmica vermelha foram todos promissores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. Tecnologias de lavra e beneficiamento. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1996. (Estudos econômicos sobre rochas ornamentais, v.3)
- ALVES, J. D. Materiais cerâmicos, classificação dos materiais cerâmicos na construção civil, In: ALVES, J. D. Materiais de construção, 4 Ed. São Paulo: Nobel, 1978, v. 2, p. 215 - 261.
- Rochas para revestimento: análise petrográfica. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 2p.(NBR 12.678).
- ARCOVERDE, W. L., SILVA, E. A. Rochas Ornamentais. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM. v.18, p. 78-9, 1998.
- CARUSO, L. G. Pedras naturais-extração, beneficiamento e aplicação. Rochas & Equipamentos, n. 43, p. 98-156, 1996.
- CARUSO, L. G. ; TAIOLI, F.; FARJALLAT, J. E. S. Os mármore e granitos brasileiros: seu uso e suas características tecnológicas. Rochas de Qualidade, n. 47, p. 36-45, 1978.
- CHAVES, A. P. Teoria e prática do tratamento de minérios. São Paulo: Signus, 1996. v.1, cap. 3, p. 152-66: Introdução.
- CHAVES, A. P.; QUEIRÓS, D. S. B.; MAIA, G. S.; BARROS, L. A. F.; HORTA, R. M. Desaguamento mecânico. In: CHAVES, A. P. Teoria e prática do tratamento de minérios. São Paulo: Signus, 1996. v. 2, cap. 4, p. 238-42.
- CHAVES, A. P.; NOGUEIRA FILHO, J. V.; FERRAN, A. Projeto MULTIMIN: cadastramento dos recursos minerais do Brasil - estudo de casos. São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas/ EPUSP, 1999.
- FELLENBERG, G. Introdução aos problemas da Poluição ambiental. 2 ed. São Paulo: USP, 1980. 193p.
- FONSECA, M. V. A. Reciclagem de rejeitos sólidos: desenvolvimento em escala de laboratório, de materiais vítreos a partir de xisto retornado. São Paulo, 1990. 224p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FREIRE, A. S. ; MOTTA, J. F. Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito. Rochas de Qualidade, n. 123, p. 98-106, jul./ ago. 1995.
- FERREIRA, J. P. Otimização na produção de teares a partir do controle da composição da lama abrasiva. Cachoeiro do Itapemirim, 1996. 96 p. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo.
- MELO JR., L. A. Panorama da indústria de rochas ornamentais e oportunidades para o Ceará. São Paulo, 1991. 152p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- MOYA, M. M. A indústria de rochas ornamentais: estudo de caso na região de Bragança Paulista. São Paulo, 1995. 116p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- MOREIRA, M. D. Aplicações dos minerais e rochas industriais. In: Materiais para construção, caps. II, III, pedras de revestimento, produto cerâmicos. Salvador / Bahia, 1994. 87p., Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia - Sergipe. p. 14 - 19.
- NETO, J. P. Tecnologia de beneficiamento de rochas ornamentais. In: Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Olinda / PE, 1998. Anais. p. 62-69.
- PINHEIRO, A. L. Metodologia de especificação e aplicação das rochas ornamentais. Cachoeiro do Itapemirim, 1996. Monografia. CETEMAG, Universidade Federal do Espírito Santo. p. 6-7.
- PONTES, I. F. Aproveitamento de finos gerados nas serragens de mármore e granitos. São Paulo, 2001. 150p., Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, P. S. Argilas como matérias - primas cerâmicas. In: SANTOS, P. S. Tecnologia de argilas. São Paulo, Edgard Blucher, 1975. v.2, aplicações, cap. 16, p. 387 - 390.
- STELLIN JÚNIOR, A. Mármore e granitos brasileiros. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, I., Cagliari, 1990. Memorie ,Cagliari: Universita degli Studi di Cagliari/Dep. Engenharia de Minas da EPUSP, 1990. p. 293-306.
- STELLIN JÚNIOR, A. Serragens de granitos para fins ornamentais. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade de São Paulo, 1998. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PMI/085)
- SILVA, R. E. C. Estudo geológico-técnico-ambiental de uma pedreira de rocha ornamental no município de Santo Antônio de Pádua. Rio de Janeiro, 1999. 140 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, UFRJ.
- SILVA, S. A. C. Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo do Potencial de aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo - Cimento. Espírito Santo, 1998. 159p. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Desenvolvimento em Construção Civil - NDCC, Universidade Federal do Espírito Santo.