

Utilização de resíduos de rochas ornamentais como Ecofiler de concreto autoadensável

Stone waste as Eco-filler for Self-Compacting Concrete

Fábio Conrado de Queiróz

Bolsista PCI, Tecnólogo em Construção Civil, *M.Sc.*

Nuria Fernández Castro

Supervisora, Engenheira de Minas, *M.Sc.*

Resumo

Os resíduos finos da industrialização de rochas ornamentais podem se constituir em matérias primas secundárias para a construção civil. Nesse âmbito e, em cooperação internacional entre o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), o Instituto Internacional do Mármore (I.S.I.M, Itália) e a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), está sendo testado seu uso como filer de concreto autoadensável. Os resultados preliminares mostram que o uso de 50 kg/m³ de resíduo de mármore não afeta as propriedades do concreto, apresentando valores semelhantes aos de um concreto padrão e que não há desenvolvimento de reação álcali-agregado com filer de resíduo de mármore nem com filer de resíduo de materiais misturados (com maior conteúdo de resíduos de rochas de origem granítica). Testes com o resíduo misturado e novas misturas com maior conteúdo em resíduo de mármore e outros aditivos estão em andamento, com o objetivo de reduzir o uso de cimento e poder certificar esses resíduos como Ecofilers para a indústria da construção civil.

Palavras chave: resíduos de rochas ornamentais, concreto autoadensável, ecofiler.

Abstract

Natural stones wastes can constitute secondary raw materials for the building industry. Aiming at it, and by means of an international cooperation project between the Centre for Mineral Technology – CETEM, the International Marble Institute (*Istituto Italiano del Marmo* – I.S.I.M) and the Brazilian Association of Portland Cement – ABCP, the use of stones processing waste as Eco-filler in Self-compacting Concrete – SCC is being tested. For that, 24 samples were collected at stones wastes landfills. Some characteristics of the wastes were first determined: grain-size distribution, real density, and chemical and mineralogical composition. Two of them, are being tested in ABCP laboratories regarding their possible use as Eco-filler. The results, by now, showed that there was no alkali-aggregate reaction for neither of the samples, one representative of siliceous mixed materials (granite) and the other of the carbonate materials (marble) and that initial characteristics of the concretes tested (with 50 kg/m³ of marble waste) were acceptable. Further experiments are being made with mix composition variations.

Key words: natural stones wastes, self-compacting concrete, Eco-filler.

1. Introdução

Na industrialização das rochas ornamentais, são produzidos resíduos de granulometria muito fina, constituídos, em sua maior parte, de pó-de-rocha e, em muito menor medida, de resíduos de insumos utilizados no processo. A quantidade gerada corresponde a mais de 25% do volume dos blocos processados (SOUZA *et al.*, 2012) e, considerando que, em 2017, foram processados 152 Mt de rochas ornamentais no mundo (MONTANI, 2018), pode-se estimar uma produção de resíduos finos de seu processamento próxima a 40 Mt para esse ano. No Brasil, foram processadas mais de 7 Mt de rochas e gerados ao redor de 2 Mt de resíduos finos em 2017 (MONTANI, *op. cit.*). O aproveitamento desses resíduos na indústria da construção civil tem sido muito estudado no âmbito acadêmico, tendo se comprovado a viabilidade técnica de seu uso na obtenção de diversos produtos como cerâmica (GADIOLI *et al.*, 2012; AGUIAR *et al.*, 2014), porcelanas e vidros (TORRES *et al.*, 2003; BABISK, 2009), lã mineral (ALVES, 2008), agregados leves (F.-C. CHANG *et al.*, 2010), e concretos e artefatos de cimento (FAJARDO, 2005; ALMEIDA *et al.* 2005; BINICI *et al.*, 2008, FREIRE *et al.* 2010). Pelas suas características granulométricas e mineralógicas, os resíduos do corte e polimento de mármore e granitos comerciais agem como fílers (aditivos minerais) no concreto, melhorando suas propriedades e até podendo substituir parte do cimento (BACARJI *et al.*, 2013). O concreto autoadensável (CAA) é um tipo de concreto que se autocompacta por seu próprio peso, sem necessidade de vibração e apresenta fluidez suficiente para ser bombeado, alcançando alta resistência com poucos dias de cura. Por esses motivos é muito utilizado atualmente na construção civil. Nesse tipo de concreto, utilizam-se diversos aditivos minerais e superplastificantes, de forma a se obter um concreto coeso, porém fluido, que permita preencher as estruturas no local de aplicação. Diversos autores (ELYAMANY *et al.*, 2014; BARROS, 2008) estudaram o uso de pó de granito e mármore como aditivos minerais para o CAA, com excelentes resultados. Com o intuito de efetivamente levar para a indústria soluções para o uso dos resíduos do corte e polimento de rochas ornamentais iniciou-se, em 2016, um projeto de cooperação internacional entre o Instituto Internacional do Mármore (IS.I.M, Itália), a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e que objetiva de certificar seu uso em concreto autoadensável e disseminá-lo entre os associados a ABCP. Na primeira etapa deste projeto foram coletadas e caracterizadas 20 amostras de resíduos de diversos aterros industriais do sul do Estado do Espírito Santo (QUEIRÓZ *et al.*, 2017). A partir dessa caracterização, foram selecionadas duas amostras para serem testadas nos laboratórios da ABCP quando incorporadas a misturas de concreto autoadensável.

2. Objetivos

Testar a incorporação de resíduos finos do corte e polimento de rochas ornamentais em concretos autoadensáveis, como fíler (Ecofiler), e continuar a caracterização de aterros do Espírito Santo para a elaboração de um mapa de resíduos.

3. Material e Métodos

A partir de informações do Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA-ES), Prefeituras e Associações de produtores, em uma etapa anterior (QUEIROZ *et al.*, 2017), foram coletadas e caracterizadas 20 amostras de resíduos de diversos tipos (mármore e calcários, travertinos, granitos comerciais, quartzito e misturadas) e provenientes de diferentes formas de equipamentos e etapas do beneficiamento (serragem em tear convencional, em tear multifio, polimento e misturados). Dentre elas, 100 kg de resíduos do beneficiamento de mármore (CAL 420/1) e 100 kg de mistura de resíduos de beneficiamento de mármore e granitos comerciais (MIX 430), foram enviadas para o laboratório de concreto da ABCP, onde foram desenvolvidos e ajustados traços de concreto autoadensável. Foi realizado o teste de reação álcali agregado para ambas as amostras, pelo método da barra de argamassa (ABNT NBR 15577-4:2009) e testes iniciais em três traços de CAA (dois com 50 kg/m³ de resíduo de mármore como Ecofíler e um padrão sem resíduo - Tabela 1): testes normalizados para concreto fresco, retração na secagem e resistência à compressão do concreto endurecido.

Tabela 1 – Traços de CAA testados

AMOSTRAS DE CONCRETO	PADRÃO (sem filer)	ECOFÍLER 1 50 kg/m ³ resíduo de mármore	ECOFÍLER 2 50 kg/m ³ resíduo de mármore
Componentes	Massa bruta (g)	Massa bruta (g)	Massa bruta (g)
Cimento CII E 40	8.393 g	10.071 g	
Cimento CPV			10.071 g
Areia natural (< 0,6 mm)	14.872 g	17.847 g	17.847 g
Areia artificial (< 6,3 mm)	9.005 g	10.806 g	10.806 g
Brita (< 12,5 mm)	24.082 g	28.898 g	28.898 g
Ecofíler (resíduo de mármore)		1.531 g	1.531 g
Aditivo 1	50 ml	60 ml	60 ml
Aditivo 2	109 ml	131 ml	131 ml

Em paralelo, foram coletadas mais quatro amostras de resíduos de aterros do norte do Espírito Santo, onde os resíduos são separados em função da sua cor, para atender a uma recente instrução normativa do IEMA (IN – 12-N, 2016) e identificadas como Amarelo Norte, Branco Norte, Cinza Norte e Preto Norte. As amostras foram preparadas no Laboratório de Rochas Ornamentais do Núcleo Regional do Espírito Santo do CETEM, o LABRO-NRES, por secagem, desagregação, peneiramento abaixo de 2 mm (10 *mesh*), homogeneização e quartejamento. Foi determinada a composição química por Fluorescência de Raios-X, em espectrômetro WDS-2, modelo AXIOS, da marca Panalytical, e a composição mineralógica por Difração de Raios-X pelo método do pó, em equipamento Bruker D4 Endeavour, com software Bruker AXS Diffrac Plus, na Coordenação de Análises Minerais – COAMI do CETEM. No NRES foram também determinadas a densidade real, pelo método do picnômetro, e a granulometria em granulômetro laser da marca Malvern, modelo Mastersizer 2000.

4. Resultados e Discussão

A granulometria das amostras coletadas é semelhante, com um d_{10} de 2, 2 a 3,8 μm , $d_{50} \approx 22 \mu\text{m}$ e d_{90} variando entre 50 e 120 μm . Os valores encontrados para as amostras branca, amarela, cinza e preta também se encontraram nos intervalos acima, com um ligeiro aumento na percentagem de material $< 0,075 \text{ mm}$ a respeito dos outros resíduos, o que pode se dever à maior contribuição de resíduos da serragem com fio diamantado. As densidades variaram entre 2,622 g/cm^3 e 2,941 g/cm^3 e a composição química de todas as amostras encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição química de todos os resíduos

AMOSTRA	Composição química (% de óxidos)										
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	PPC
MIX 422	3,20	1,50	15,80	60,80	0,44	< 0,1	3,70	4,60	0,72	7,40	1,40
MIX 423	4,70	1,60	19,70	56,40	0,32	4,50	3,90	0,76	6,20	0,23	1,20
MIX 424	3,90	1,50	17,70	61,00	0,35	4,00	3,70	0,69	5,20	0,12	1,30
MIX 425	4,10	1,90	18,10	57,30	0,42	3,90	4,20	0,83	7,70	0,16	0,85
MIX 427/3	3,30	2,00	14,60	67,80	0,21	3,20	2,70	0,41	3,50	< 0,1	2,00
MIX 428/1	3,50	1,50	14,70	66,50	0,29	< 0,1	3,20	3,80	0,62	5,80	1,50
MIX 430	3,50	1,60	16,50	61,50	0,38	0,11	3,60	3,40	0,70	7,10	1,20
MIX 431	3,30	3,50	15,50	58,70	0,42	0,13	3,20	5,30	0,77	4,50	4,30
MIX 434	3,60	1,60	16,60	61,60	0,41	0,13	3,60	4,20	0,71	6,40	0,69
MIX 435	3,30	1,70	16,20	62,70	0,35	< 0,1	3,60	3,80	0,62	5,80	1,50
MIX 440	2,80	4,70	13,20	46,50	0,33	< 0,1	2,80	12,40	0,57	4,70	11,60
MIX 441	4,40	1,60	19,40	59,30	0,37	< 0,1	4,60	3,60	0,77	4,00	1,10
MIX 442	3,80	1,60	17,00	59,70	0,39	< 0,1	3,90	4,30	0,73	6,50	1,40
SIL 420/4	3,20	2,00	15,80	58,50	0,43	0,23	3,50	4,60	0,67	8,00	2,60
CAL 420/1	0,16	21,10	0,60	5,80	< 0,1	< 0,1	< 0,1	29,10	< 0,1	0,12	42,70
TRA 420/3	< 0,1	21,60	0,31	4,80	< 0,1	< 0,1	< 0,1	29,80	ND	< 0,1	43,20
M+F 420/2	1,40	12,50	5,80	27,20	< 0,1	< 0,1	1,10	21,60	< 0,1	0,65	29,30
MLA 427/1	3,40	1,40	16,40	64,20	0,23	3,70	3,20	0,50	5,70	< 0,1	0,82
MFI 427/2	3,5	0,79	14,4	72,8	0,16	3,3	1,5	0,34	2,1	< 0,1	0,76
QZT 439	<0,1	<0,1	<0,1	99,4	ND	ND	<0,1	0,14	<0,1	<0,1	0,22
BRN 528	3,90	0,38	15,60	72,80	0,13	-	4,00	1,30	0,18	1,40	0,36
AMN 528	3,10	0,60	14,40	73,80	0,16	-	4,10	0,96	0,22	1,60	1,10
CZN 528	3,10	0,61	15,20	67,40	0,21	-	4,30	2,90	0,36	5,40	0,44
PRN 528	3,50	5,00	18,90	51,11	1,30	-	1,60	6,20	2,40	9,50	0,34

MIX – todos os tipos de rocha e processo; SIL – silicáticas, todos os processos; CAL – carbonáticas; TRA – travertinos; M+F – mármore e feldspato; MLA – serragem em tear de lâminas de aço; MFI – serragem em multifio diamantado; QZT - quartzito; BRN – resíduos brancos do norte do estado; AMN – resíduos amarelos do norte do estado; CZN – resíduos cinza do norte do estado; PRN – resíduos pretos do norte do estado.

Pode-se observar que os resíduos cortados em tear convencional (de lâminas de aço, com granalha) apresentam maiores teores de ferro, o que pode se dever à contribuição dos insumos e à própria composição da rocha, pois, rochas mais máficas, com menor conteúdo em quartzo e, por isso, menos abrasivas (ou macias, em termos do setor) são serradas em teares convencionais enquanto que os teares de fio diamantado (embora já estejam substituindo os convencionais) ainda serram mais materiais com maior conteúdo em quartzo, mais abrasivos (ou duros nos termos do setor). A separação dos resíduos por cores, mesmo que de forma visual, parece interessante para separar resíduos com maior conteúdo em ferro, já que os minerais com maior conteúdo nesse elemento são os máficos ou escuros. As duas amostras selecionadas e em teste na ABCP foram a MIX 430 (densidade 2,773 g/cm³, 85,72% < 0.075 mm) e CAL 420/1 (densidade 2,766 g/cm³, 89,67% < 0.075 mm) e composição química mostrada na Tabela 2. Não foi observada reação álcali-agregado, pelo método acelerado de barras de argamassa (ABNT NBR 15577- 4:2009) para nenhuma das misturas com resíduos (traços definidos pela equipe da ABCP) em comparação ao traço padrão da ABCP (Tabela 3). Embora ainda deva ser realizado o teste de longo prazo é interessante notar o bom resultado obtido com o resíduo de mistura de granitos comerciais, para o qual poderia se ter esperado o desenvolvimento da reação por causa dos minerais que compõem esses resíduos. De fato, os resultados foram ainda melhores que os do resíduo de materiais carbonáticos. Isso pode ser devido ao pequeno tamanho das partículas que, ao ocupar os vazios do concreto, inibem o desenvolvimento da reação álcali-agregado, inclusive quando os finos são reativos (OLIVEIRA, 2017).

Tabela 3 – Resultados do ensaio acelerado de reação álcali-agregados - ABNT NBR 15577-4:2009

Idade	Variação dimensional média (%)		
	Padrão	Res. mármore	Res.granito
2 dias	0,010	0,010	0,010
5 dias	0,020	0,020	0,020
7 dias	0,020	0,020	0,020
9 dias	0,030	0,030	0,020
12 dias	0,040	0,040	0,020
14 dias	0,050	0,050	0,030
16 dias	0,050	0,050	0,030
19 dias	0,060	0,060	0,030
21 dias	0,060	0,060	0,030
23 dias	0,080	0,070	0,040
28 dias	0,090	0,080	0,040

Os resultados da retração na secagem, propriedades em estado fresco e resistência à compressão dos CAA com resíduo de mármore e do padrão da ABCP são mostrados nas Tabelas 4, 5 e 6 abaixo.

Tabela 4 – Retração na secagem variação no comprimento (%) (*Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete - ASTM C 157:2014*)

Idade	SEM FÍLER	ECOFÍLER 1	ECOFÍLER 2
7 dias	+ 0,009	+ 0,009	+ 0,005
14 dias	- 0,017	- 0,019	- 0,019*
28 dias	- 0,036	- 0,041	- 0,033

* Medido no 15º dia por motivos operacionais

Tabela 5 – Propriedades dos concretos em estado fresco

Propriedades	SEM FÍLER	ECOFÍLER 1	ECOFÍLER 2
Densidade (g/cm³)	2,454	2,475	2,460
Conteúdo em ar (%)	1,4	1,4	1,3
Abatimento - <i>Slump Flow</i> (mm)	750	700	750
T ₅₀₀ (s)	2,8	5	3

Tabela 6 – Resultados da resistência à compressão (MPa)

Idade	SEM FÍLER	ECOFÍLER 1	ECOFÍLER 2
24 horas	0,9	-	4,3
3 dias	34,3	35,8	39,8
7 dias	42,2	43,9	40,4
28 dias	53,6	55,0	49,2

5. Conclusão

Os resíduos finos do corte e polimento de rochas ornamentais, constituídos basicamente de pó-de-rocha, e gerados em grandes quantidades (estimadas em 2 Mt anuais) podem ser considerados como matéria prima secundária (ou alternativa) para a indústria da construção civil no Brasil, conforme demonstram diversos estudos. Porém, para que isso aconteça, de fato, deve ser dada uma garantia ou certificação de que o uso desses resíduos não gerará problemas técnicos ou ambientais nas edificações ou obras, bem como deverá se facilitar a localização das possíveis fontes dessa matéria prima secundária, para a melhor decisão futura de uso, em função dos altos custos de transporte no país. Esses são os objetivos deste projeto de cooperação internacional CETEM-IS.I.M-ABCP: certificar o uso dos resíduos de rochas ornamentais para diversos produtos da construção civil e elaborar um mapa desses resíduos. Até agora foram caracterizados 14 aterros industriais e 24 amostras de resíduos de diversos tipos de rochas, processos e misturados e duas amostras estão sendo testadas na ABCP quanto à possibilidade de seu uso como fíler (Ecofíler) de concreto autoadensável. Os resultados, até agora, mostram que o uso de 50 kg/m³ de ecofíler de resíduos de mármore não afetam às propriedades do concreto e destaca-se, isso sim, o bom resultado obtido quanto à reação álcali-agregado, tanto para resíduos de mármore quanto misturados (maioria de materiais silicáticos), melhor que o do concreto de referência e que era a maior preocupação inicial quanto ao uso destes resíduos. Embora não tenha sido

totalmente comprovado ainda que o uso destas adições minerais melhore as características do concreto, como se espera pela experiência da Itália (IS.I.M.), o trabalho está em andamento e novas misturas e outros aditivos estão sendo testados junto à ABCP. Os resultados das propriedades do concreto fresco e do endurecido foram similares aos do concreto padrão, mesmo tendo se utilizado traços conservadores quanto ao conteúdo em resíduos. Na etapa agora iniciando serão testadas as misturas com resíduo de granito, uma nova com 75 kg/m³ de resíduo de mármore e o uso de um outro aditivo superplastificante buscando melhorar as características e reduzir o uso de cimento.

6. Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pela bolsa concedida, ao CETEM e aos aterros pela infraestrutura e apoio nas análises, aos parceiros Paolo Marone (IS.I.M), Rubens Curti, Rubens Monge e Ana Sílvia Silveira (ABCP) pelas orientações, a Riccardo (Chimica Edile) pelo entusiasmo e a Caroline Oliveira, aos técnicos da ABCP e aos colegas do NRES pelas contribuições ao trabalho, em especial a Leo Cattabriga, Carlos Eduardo, Elton, Hieres, Saulo, Millena e Flávio.

7. Referências Bibliográficas

AGUIAR, M.C., GADIOLI, M.C.B., BABISK, M.P., CANDIDO, V.S., MONTEIRO, S. N., VIEIRA, C.M.F. Clay ceramic incorporated with granite waste obtained from diamond multi-wire sawing technology. **Materials Science Forum** Vols. 775-776 (2014) pp 648-652. Trans Tech Publications, Switzerland: 2014. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.775-776.648

ALMEIDA, N., BRANCO, F., SANTOS, J.R. Recycling of Stone slurry in industrial activities: application to concrete mixtures. **Building and Environment** 42 (2007) pp. 810-819. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.buildenv.2005.09.018

ALVES, J.O. **Processo de reciclagem de escória de aciaria e do resíduo de corte de granito visando a produção de lá mineral**. 2008. 100 f. il. Dissertação (Mestrado) – REDEMAT. Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais (Brasil).

BABISK, M.P.. **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais**. 2009. 90 f. il. Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro (Brasil).

BACARJI, E., TOLEDO FILHO, R. D., KOENDERS, E. A .B., FIGUEIREDO, E. P., LOPES, J. L. M. P. Sustainability perspective of marble and granite residues as concrete fillers. **Construction and Building Materials** 45 (2013) pp 1 -10. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.032>

BARROS, PEDRO GUSTAVO DOS SANTOS. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito**. 2008. 101 f. : il. .Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil : Estruturas) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió (Brasil).

BINICI, H., SHAH, T., AKSOGAN, O., KAPLAN, H. Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. **Journal of Materials Processing Technology** 208 (2008) pp 299-308. Elsevier. B.V. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.12.120

ELYAMANY HAFEZ E., ELMOATY M., ELMOATY A, BASMA MOHAMED. Effect of filler types on physical, mechanical and microstructure of self compacting concrete and Flow-able concrete - **Alexandria Engineering Journal** (2014) 53, 295–307 - <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2014.03.010>

FAJARDO, B. F.. **Aproveitamento de dois resíduos industriais – pó do corte do granito e catalisador do craqueamento do petróleo – na fabricação de elementos construtivos estruturais**. 2005. Dissertação (Mestrado em ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).

F-C. CHANG, M-Y. LEE, S-L. LO, J-D. LIN. Artificial aggregate made from waste stone sludge and waste silt. **Journal of Environmental Management** 91 (2010) pp 2289-2294. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.jenvman.2010.06.011

FREIRE, L. C.; CASTRO, N. F.; SILVEIRA, L. L. L. Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. In: Jornada PCI do CETEM, 2., Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

GADIOLI, M.C.B., AGUIAR, M.C., PAZETO, A.A., MONTEIRO, S.N., VIEIRA, C.M.F. Influence of the Granite Waste into a Clayey Ceramic Body for Rustic Wall Tiles. **Materials Science Forum** Vols. 727-728 (2012) pp 1057-1062. Trans Tech Publications, Switzerland: 2012. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.727-728.1057

MONTANI, CARLO. **XXIX Rapporto marmo e pietre nel mondo 2018**. Carrara (Itália): Aldus Casa di Edizione In Carrara, 2018. 326 p. 2 v.

OLIVEIRA, M. A., **Finos de agregados reativos na minimização da reação álcali-agregado**. 2017. 136 f. il. Dissertação (Mestrado) – Núcleo de Geotecnia. Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais (Brasil).

QUEIRÓZ, F. C.. CASTRO, N. F. Incorporação de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais em concreto autoadensável como Ecofiller. In: Jornada PCI do CETEM, 6., Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM, 2017.

SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H.; FERNÁNDEZ CASTRO, N.; Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de rochas ornamentais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM, 2012.

TORRES, P., FERNANDES, H.R., AGATHOPOULOS, S., TULYAGANOV, D.U., FERREIRA, J.M.F. Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations. **Journal of the European Ceramic Society** 24 (2004) 3177–3185. Elsevier Ltd, 2003. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2003.10.039