



ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE GRANITO

DOI:10.19177/rgsa.v7e32018273-296

Gilmara Pacheco Bacheti¹

Rômulo Maziero²

Davi Pereira Garcia³

RESUMO

O aumento na quantidade produzida e a alta capacidade de contaminação dos resíduos sólidos tem se tornado um dos principais desafios da atualidade. As indústrias se tornaram fontes significantes de geração, com isso, a gestão ambiental dos resíduos sólidos industriais vem sendo discutida constantemente, visando buscar alternativas sustentáveis de reaproveitamento e destinação final. O aterro ainda é considerado o método, comumente, adotado pelas indústrias do granito para disposição dos resíduos, sendo preciso encontrar novas alternativas, com responsabilidades compartilhadas, para a utilização dos rejeitos. A incorporação da lama de granito na fabricação de cimento e concreto, estudada por diversos autores, é uma forma viável de absorver quantidade significativa do resíduo em questão. Neste trabalho foram produzidos blocos de concreto com diferentes proporções da lama residual do processamento de granito, cedida por uma indústria do norte do estado do Espírito Santo. A lama de granito foi classificada pelos ensaios de lixiviação e solubilização como resíduo Classe II A, não perigoso e não inerte, respectivamente. Em relação à análise granulométrica, a lama foi classificada como agregado miúdo para incorporação na fabricação de concreto. O aspecto visual dos blocos de concreto produzidos não foi afetado pela incorporação da lama de granito em nenhum dos traços. Todos os blocos analisados apresentaram suas medidas dentro dos limites de tolerância estabelecidos pela norma ABNT NBR 9781 (2013), contudo, o nível de dispersão dos valores aferidos foi elevado e, pelo cálculo do índice de capacidade de processo e do índice de capacidade para processos não centrados, pode-se afirmar que a amostragem não foi suficiente para garantir que todos os blocos produzidos atendam a referida norma, sendo necessário um controle de qualidade mais rigoroso.

Palavras-Chave: aproveitamento de resíduo, lama abrasiva, pavimentação intertravada.

¹ Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal Fluminense, e pós-graduanda em Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. E-mail: gilmrapacheco@hotmail.com

² Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, e graduado em Engenharia Industrial Madeireira pela Universidade Federal do Espírito Santo, e técnico em Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. E-mail: maziero.ifes@gmail.com

³ Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Espírito Santo, e graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: davi.garcia@ifes.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são um dos principais problemas no mundo, principalmente pelo aumento na quantidade produzida e pela alta capacidade de contaminação. As indústrias são as maiores responsáveis pelo consumo de recursos naturais e pela geração de enormes quantidades de rejeitos sólidos durante os processos de produção. O armazenamento e o despejo em lugares inadequados, de uma variedade de compostos gerados durante a fabricação de novos produtos, estão causando danos ambientais consideráveis (MENEZES *et al.*, 2002; ACCHAR *et al.*, 2006; AKBULUT *et al.*, 2012).

No Brasil existem mais de 12000 indústrias no setor de rochas ornamentais que movimentam anualmente aproximadamente 2 bilhões de dólares no mercado interno e externo, além de serem responsáveis por aproximadamente 100000 empregos diretos. O estado do Espírito Santo é o principal responsável pela produção de pedras ornamentais no país, contribuindo com mais de 70% das exportações brasileiras no setor, sendo referência na produção de mármore e granito (VITÓRIA STONE FAIR, 2013; ABIROCHAS, 2016).

A indústria de rochas ornamentais gera quantidades significantes de resíduos sólidos brutos e em formas de lamas, provenientes da extração das rochas e do processamento das pedras, respectivamente. A quantidade de resíduos gerados pelas indústrias de rochas ornamentais vem aumentando nos últimos anos como consequência do crescimento da demanda deste produto no mercado (HOJAMBERDIEV *et al.*, 2011; RAMOS *et al.*, 2013).

Os processos de serragem, polimento e corte do granito produzem cerca de 0,1 m³ de lama por tonelada de rocha processada, sendo que 0,08 m³/ton ou 80% são gerados na serragem do bloco e 0,02 m³/ton ou 20% são gerados pelo polimento e corte de acabamento final das chapas (TORRES *et al.*, 2009).

O processo de serragem do granito em um tear convencional, máquina robusta que corta o bloco em chapas por meio de lâminas de aço, produz uma lama que contém água, partículas de ferro, aço, cal e pó de rocha, provenientes dos insumos utilizados (BACARJI *et al.*, 2013).

O processo de polimento tem como consequência a geração de uma lama contendo partículas provenientes dos abrasivos utilizados nesta etapa, apresentando

na composição resina de poliéster insaturada, partículas com várias dimensões de carbono de silicone, carbonato de cálcio, cloreto de sódio e óxidos (LIMA, 2010).

A lama residual, gerada nos processos de serragem em um tear convencional e no polimento das chapas, é composta principalmente por óxidos como a sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), assim como pelo cal (CaO), óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio (K_2O), como também óxidos de ferro provenientes da granalha (SILVA *et al.*, 2005).

Embora os resíduos de granito não sejam classificados como perigosos, a deposição inadequada destes rejeitos pode causar impactos negativos ao ecossistema e ao meio ambiente, como por exemplo, alterando a cor dos cursos de água e aumentando a turbidez, que provoca uma diminuição da penetração de luz utilizada pelos organismos vivos no processo de fotossíntese, alterando assim a cadeia alimentar (TORRES *et al.*, 2009).

Geralmente esses rejeitos são dispostos na natureza sem nenhum tipo de tratamento, causando não só problemas econômicos, mas também ambientais. A lama abrasiva, proveniente das atividades de corte e polimento das rochas, representa um desafio às indústrias de granito. Uma possibilidade de solução sustentável para esta questão seria o uso do rejeito como fonte de matéria-prima para outras indústrias. Portanto, com o objetivo de minimizar tais danos ao meio ambiente, recentemente vários estudos estão sendo conduzidos para investigar a viabilidade do uso desses rejeitos na produção de outros materiais (LIMA, 2010; MÁRMOL *et al.*, 2010; AL-HAMAIEDEH; KHUSHEFATI, 2013; BACARJI *et al.*, 2013; LI *et al.*, 2013).

Para os estudos já desenvolvidos, objetivando o aproveitamento da lama de granito como insumo na fabricação de novos produtos, a incorporação deste rejeito na produção de cimento foi discutido por Lima (2010) e Li *et al.* (2013) como uma opção viável, uma vez que o resíduo apresenta na composição a maioria dos constituintes químicos do cimento, mas em proporções distintas. Barbosa *et al.* (2003), Alves (2008) e Binici *et al.* (2008) estudaram a fabricação de concreto utilizando rejeito de granito incorporado ao cimento, os resultados demonstraram que além de não ter comprometido a estrutura física dos materiais obtidos, a incorporação da lama tem como vantagem o aumento da resistência à compressão dos produtos.

Dentre alguns dos fatores que auxiliam no aumento da resistência à compressão dos concretos produzidos com a lama de granito, pode-se citar a

diminuição da absorção de água. A granulometria da lama proporciona um melhor preenchimento dos espaços vazios, portanto o teor de absorção de água reduz e a resistência à compressão aumenta (MOURA; LEITE, 2011; COSTA *et al.*, 2014).

Segundo Al-Hamaiedeh e Khushefati (2013) a utilização da lama de granito para fabricação de concreto além de não comprometer a estrutura física e aumentar a resistência à compressão, é uma alternativa que reduz os custos de produção aliado à preservação ambiental, pois diminui os impactos de disposição da lama residual como também a quantidade de recursos naturais utilizados como matéria-prima.

Uma das alternativas sustentáveis para o uso da lama de granito, juntamente com o cimento, está na preparação de blocos de concreto para pavimentação. O cimento é um dos materiais mais utilizados no Brasil e a indústria da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais extraídos diretamente da natureza. Contudo, cada vez mais a produção de cimento tem incorporado rejeitos provenientes de vários processos industriais, diminuindo o volume de resíduos enviados para aterros, contribuindo para a preservação do meio ambiente (BINICI *et al.*, 2008; LUCAS; BENATTI, 2008).

A fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada de ruas, calçadas, praças, dentre outras opções, é uma prática em crescimento em diversos países, inclusive no Brasil. Além da facilidade de instalação e manutenção, quando empregado de forma correta, obedecendo aos critérios técnicos, este tipo de pavimentação possibilita conforto térmico e permeabilidade da água no solo, contribuindo para um desenvolvimento aliado às necessidades ambientais (COSTA *et al.*, 2014).

Com isso, a utilização da lama residual do processamento de granito para a fabricação de blocos de concreto de pavimentação é uma opção sustentável a ser estudada, por ser tecnicamente, ambientalmente e economicamente viável. Sendo assim, os blocos produzidos devem atender aos critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 9781 (2013) - "Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio", que permite a utilização de agregados naturais, industriais ou reciclados, desde que atendam aos requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 7211 (2005) - "Agregados para concreto – Especificação".

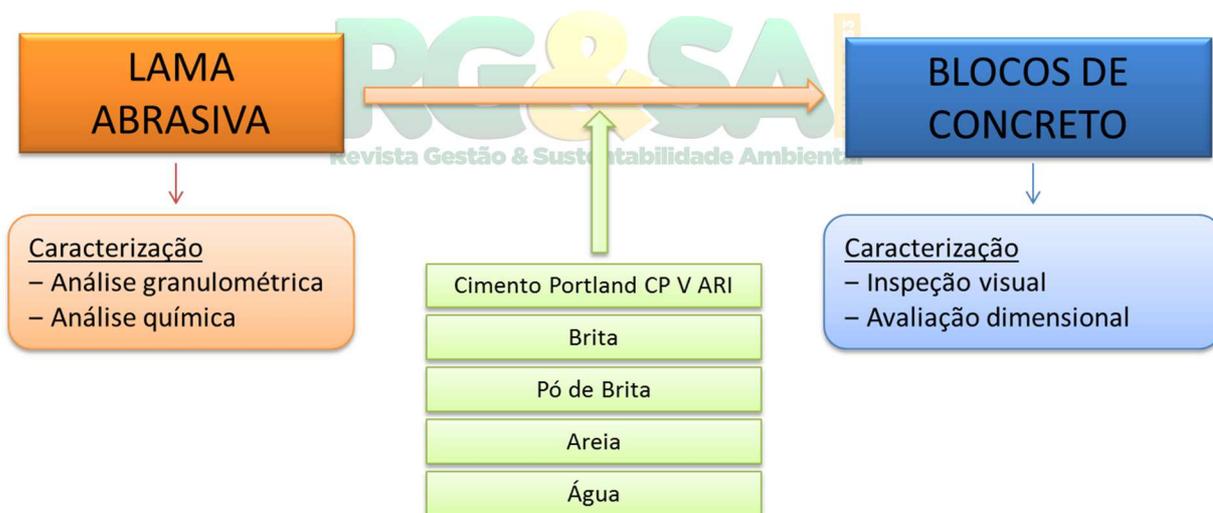
Diante do cenário de mudanças, nas exigências ambientais que vem ocorrendo no mundo, torna-se necessário discutir formas sustentáveis de destinação dos

resíduos da indústria de rochas ornamentais. Portanto, o objetivo deste trabalho é produzir blocos de concreto para pavimentação utilizando como insumo a lama abrasiva gerada pelo corte e polimento de granitos, proveniente de uma indústria no norte do Espírito Santo, e verificar a viabilidade técnica dos blocos produzidos de acordo com a norma ABNT NBR 9781 (2013) – “Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio”.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma experimental apresentado na Figura 1 mostra as principais etapas compreendidas para a fabricação e caracterização dos blocos de concreto, utilizando a lama residual do processamento de granito como um dos insumos.

Figura 1: Fluxograma de fabricação e caracterização de blocos de concreto produzidos com lama residual.



Fonte: Autores (2017).

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA LAMA ABRASIVA

A lama residual de granito utilizada foi cedida por uma indústria de processamento de rochas ornamentais graníticas, localizada no município de São Mateus, Espírito Santo. Na empresa em questão, a lama é gerada pelas etapas de

corte do bloco de granito e do polimento das chapas. O corte do bloco é realizado por um tear multilâminas de aço, com adição de água, gralha e cal, necessários para o resfriamento das lâminas e otimização do corte. Estes insumos, juntamente com o pó da pedra, são os compostos do resíduo na etapa de serragem. No processo de polimento das chapas são utilizados abrasivos e água.

A Figura 2 apresenta o corte dos blocos e o polimento das chapas de granito.

Figura 2: Corte do bloco de granito (A) e polimento das chapas (B).



Fonte: Autores (2017).

A lama proveniente das etapas de serragem e polimento apresenta alto teor de umidade, portanto é disposta em três leitos de secagem (Figura 3), antes de seguir para a destinação final, que atualmente é o aterro industrial Classe II, projetado para receber resíduos não perigosos, inertes ou não inertes.

Figura 3: Leitos de secagem da lama residual do processamento de granito.



Fonte: Autores (2017).

2.1.1 Análise granulométrica

Para a realização da análise granulométrica utilizou-se 500 g da lama abrasiva, que foram peneiradas manualmente por meio de peneiras com aberturas de 150 μm , 600 μm , 4,75 mm, 6,30 mm e 9,50 mm, conforme as normas ABNT NBR 7217 (1987) e ABNT NBR 7211 (2005). O ensaio foi realizado no Laboratório de Metalurgia do Ifes - Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória.

2.1.2 Análise química

A classificação da lama abrasiva, pela norma de Classificação de Resíduos ABNT NBR 10004 (2004), foi obtida pela realização dos ensaios de lixiviação e solubilização, em consonância com as normas ABNT NBR 10005 (2004) e ABNT NBR 10006 (2004), respectivamente.

Os ensaios de lixiviação e solubilização são necessários para avaliar os impactos ambientais e os riscos à saúde humana decorrentes de compostos presentes no resíduo. O ensaio de lixiviação analisa a estabilidade química dos compostos em presença de soluções similares às presentes em aterros, verificando o grau de mobilidade dos contaminantes, e quando o limite máximo estabelecido pela ABNT NBR 10004 é ultrapassado, o resíduo é classificado como perigoso. O ensaio de solubilização avalia a quantidade de substância solubilizada, e quando o limite

máximo estabelecido pela norma é atingido por algum dos compostos, o resíduo é classificado como não inerte (PIETROBON *et al.*, 2002).

Os ensaios de lixiviação e solubilização foram realizados em laboratório externo – CETAN - Centro Tecnológico de Análises, que possui as certificações e credenciais exigidas pelo IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, órgão ambiental responsável pelo licenciamento da empresa de granito.

2.2 BLOCOS DE CONCRETO

2.2.1 Preparação dos blocos de concreto

Os blocos de concreto foram confeccionados em uma fábrica de bloquetes, localizada no município de São Mateus, Espírito Santo, conforme Figura 4. O processo de fabricação foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 9781 (2013) e as respectivas referências normativas para os insumos utilizados: cimento Portland CP V ARI (ABNT NBR 5733/1991), brita (ABNT NBR 7211/2005), pó de brita (ABNT NBR 7211/2005), areia (ABNT NBR 7211/2005) e água (ABNT NBR 15900-1/2009).



Figura 4: Processo de fabricação dos blocos de concreto.

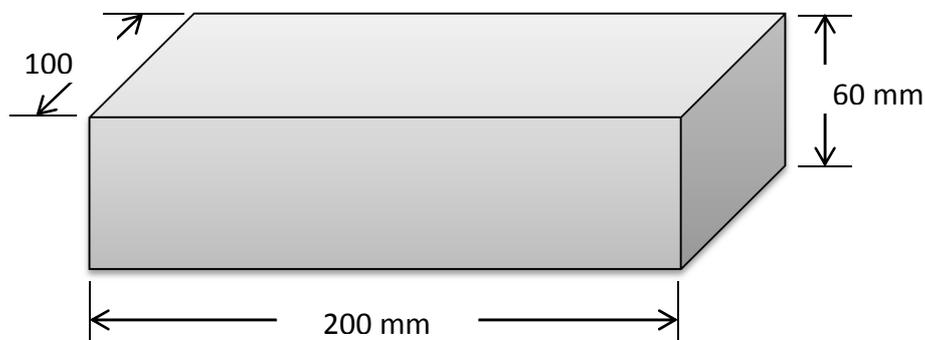


Fonte: Autores (2017).

Os blocos produzidos possuem formato Tipo I - Peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a 2 (dois), que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentados em fileiras ou em espinha

de peixe, segundo a norma ABNT NBR 9781 (2013), com dimensões de 200 mm x 100 mm x 60 mm, conforme Figura 5.

Figura 5: Dimensões e formato dos blocos de concreto produzidos.



Fonte: Autores (2017).

Os diferentes traços de concreto, apresentados no Quadro 1, foram definidos pela facilidade de aplicação no processo de fabricação dos blocos, portanto, o volume de lama abrasiva utilizada em substituição a algum dos insumos correspondeu a múltiplos inteiros do balde de medida de 18 L utilizado no processo.

Quadro 1: Traços dos blocos de concreto.

TRAÇO	A	B	C	D	E	F
Areia (L)	162	144	126	108	162	162
Pó de brita (L)	108	108	108	108	54	108
Brita (L)	162	162	162	162	162	162
Cimento (kg)	120	80	80	80	80	80
Relação a/c	0,38	0,62	0,50	0,50	0,44	0,50
Lama abrasiva (L)	-	18	36	54	108	54

Fonte: Autores (2017).

Os insumos ficam estocados em local descoberto no interior da fábrica, sofrendo as ações do tempo, conforme Figura 6. Durante a fabricação dos blocos, os teores de umidade da areia, do pó de brita e do resíduo de granito podem variar, influenciando diretamente na quantidade de água adicionada ao processo e, conseqüentemente, na relação água/cimento.

Figura 6: Estocagem dos insumos utilizados para fabricação dos blocos de concreto.



Fonte: Autores (2017).

Depois de produzidos, os blocos ficaram estocados em uma área coberta (Figura 7) aguardando o tempo de cura, conforme ABNT NBR 9781 (2013).

Figura 7: Estocagem dos blocos de concreto após fabricação.



Fonte: Autores (2017).

2.2.2 Caracterização física

2.2.2.1 Inspeção visual

A inspeção visual para identificação de blocos com defeitos foi realizada de acordo com os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 9781 (2013).

Os blocos de concreto não podem afetar o desempenho estrutural, o assentamento, nem a estética do pavimento. Portanto devem apresentar as características expressas abaixo:

- i. Aspecto homogêneo;
- ii. Devem ser livres de rebarbas, defeitos, de laminação e descamação;
- iii. Possuir espaçador de juntas;
- iv. Chanfro padronizado;
- v. Arestas regulares;
- vi. Ângulo de inclinação igual a 90° .

Visando a otimização dos ensaios, redução de matéria prima e dos custos operacionais, foi fabricado apenas um lote de cada traço. Portanto os blocos produzidos foram analisados tendo como parâmetro o primeiro traço, sem adição da lama residual de granito, pois no processo habitual de fabricação em larga escala, realizado na fábrica, os primeiros lotes sempre retornam ao processo de mistura e de prensa para a fabricação de bloquetes mais homogêneos.

2.2.2.2 Avaliação dimensional

A avaliação dimensional foi realizada para verificar se os blocos produzidos atenderam os requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 9781 (2013), que admite tolerância para qualquer formato de ± 3 mm no comprimento, ± 3 mm na largura e ± 3 mm na espessura. Ainda segundo a norma, para cada lote de até 300 m², devem ser avaliadas 6 amostras.

Os blocos foram medidos utilizando um paquímetro universal em milímetro com resolução de 0,05mm. Para verificação do atendimento às tolerâncias estabelecidas pela norma supracitada, calculou-se a estimativa da média natural do processo (\bar{X}_p), a estimativa do desvio padrão natural do processo (s_p), o índice de capacidade do processo (C_p) e o índice de capacidade para processos não centrados (C_{pk}) para cada traço produzido.

Segundo Albertazzi G. Jr e Souza (2008), o índice de capacidade do processo (C_p) juntamente com o índice de capacidade para processos não centrados (C_{pk}) podem ser utilizados para verificar a possibilidade do controle de qualidade do processo realizado por amostragem. Quando C_p e C_{pk} apresentam valores maiores que 1,33 não é necessária a verificação de 100% da produção. Quando o valor de C_p é inferior à 1,00 o controle de qualidade deve ser realizado em todos os produtos, pois o nível de dispersão é muito elevado, aumentando as chances do produto não condizer as especificações.

Ainda segundo os autores, C_p e C_{pk} são calculados, respectivamente, pelas Equações 1 e 2:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 s_p} \quad (1)$$

$$C_{pk} = \min \left(\frac{LSE - \bar{X}}{3 s_p}, \frac{\bar{X} - LIE}{3 s_p} \right) \quad (2)$$

Em que, C_p é o índice de capacidade do processo, LSE o limite superior de especificação, LIE o limite inferior de especificação, s_p o desvio padrão, C_{pk} o índice de capacidade para processos não centrados e \bar{X} a estimativa da média natural do processo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA LAMA ABRASIVA

3.1.1 Análise granulométrica

A distribuição granulométrica da lama residual obtida está apresentada no Quadro 2.

Quadro 2: Caracterização granulométrica da lama abrasiva.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	
Abertura Peneira	Massa Retida

mm	% média acumulada
6,30	3
4,75	6
0,60	66
0,15	98
Dimensão Máxima Característica	6,30 mm
Módulo de Finura	1,71
Gradação (ABNT - NBR 7211/2005)	Agregado miúdo

Fonte: Autores (2017).

A lama residual de granito apresentou 6,30 mm como dimensão máxima característica e 1,71 como módulo de finura, se enquadrando como agregado miúdo segundo a norma ABNT NBR 7211 (2005). Ainda de acordo com a norma, a distribuição granulométrica do material deve estar de acordo com os critérios apresentados no Quadro 3 para utilização como agregado miúdo na fabricação de concreto.

Quadro 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS

- 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
- 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
- 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT NBR 7211 (2005).

A lama residual de granito analisada permaneceu dentro dos limites da distribuição granulométrica estabelecidos pela norma ABNT NBR 7211 (2005), portanto a mesma pode ser utilizada como agregado miúdo na confecção de concreto.

Al-Hamaiedeh e Khushefati (2013) analisaram o resíduo da lama de granito tanto como adição de agregado fino, como na substituição de parte do cimento, para a fabricação de concreto e argamassas. No estudo, concluíram que a adição do resíduo como agregado miúdo não comprometeu as propriedades do concreto e que a adição, em até 20% da lama em relação à massa do cimento, melhorou algumas propriedades físicas do concreto produzido.

Alves (2008) estudou o resíduo da lama de granito como adição mineral no cimento CP V ARI. No trabalho concluiu que a adição do resíduo de granito aumenta a quantidade de partículas finas na composição do concreto, melhorando a qualidade com um produto mais homogêneo e adensado. No entanto, a quantidade de resíduo adicionado não pode ser elevada, pois o excesso de partículas finas compromete a trabalhabilidade do concreto, dificultando o adensamento. Ainda segundo o autor, o teor de adição do resíduo varia de acordo com a relação a/c do concreto.

3.1.2 Análise química

Os Quadros 4 e 5 apresentam os resultados do ensaio de lixiviação e solubilização da lama residual do processamento de granito.



Quadro 4: Resultados do ensaio de lixiviação.

COMPOSTO	RESULTADO	LIMITE MÁXIMO (NBR 10.005/2004 - Lixiviação)	UNIDADE
-EXTRATO LIXIVIADO-			
Massa da amostra pesada	100 ± 1	-	g
pH após adição de ácido (ac*)	3 ± 1	-	-
pH da amostra (ac)	10 ± 1	-	-
pH Final/Extrato lixiviado (ac)	4 ± 1	-	-
Solução de extração	1	-	-
Tempo de lixiviação	18	-	h
Teor de sólidos secos (ac)	87 ± 0,93	-	%
Volume de lixiviado (ac)	2000 ± 20	-	mL

*ac: ensaio auditado pelo sistema da qualidade conforme norma NBR ISO/IEC 17025/2005.

Fonte: Adaptado de CETAN (2016).

Quadro 5: Resultados do ensaio de solubilização.

COMPOSTO	RESULTADO	LIMITE MÁXIMO (NBR 10.006/2004 - Solubilização)	UNIDADE
-EXTRATO SOLUBILIZADO-			
pH Final/Extrato solubilizado (ac*)	9 ± 1	-	-
Teor de umidade	13 ± 0,06	-	%
-PARÂMETROS INORGÂNICOS-			
Alumínio total (ac)	1,85 ± 0,13	0,2	mg/L

*ac: ensaio auditado pelo sistema da qualidade conforme norma NBR ISO/IEC 17025/2005.

Fonte: Adaptado de CETAN (2016).

Conforme norma ABNT NBR 10004 (2004) a lama residual de granito foi classificada como resíduo Classe II A - não perigoso e não inerte. A classificação de não perigoso foi devido a nenhum composto ultrapassar os limites estabelecidos pela referida norma e classificado como não inerte, pois o composto Alumínio total apresentou teor acima do limite máximo permitido para o extrato solubilizado.

Outros estudos chegaram a resultados semelhantes, Gonçalves *et al.* (2002) analisaram a lama residual de granito proveniente de uma fábrica de processamento de granito, que também foi classificada, segundo a ABNT NBR 10004/2004, como resíduo Classe II A (não inerte), devido à concentração do elemento químico F ter ultrapassado o limite máximo de solubilização estabelecido pela norma. Já Bertossi *et al.* (2012) verificaram a não inerticidade de uma amostra de lama proveniente do processamento de granito devido às concentrações de Cu, Fe, Mn e Na, que ultrapassaram o limite máximo estabelecido pela ABNT NBR 10004/2004.

Vale ressaltar que a diferença de parâmetros de uma empresa para outra é devido aos diferentes blocos de granitos processados, cada tipo possui elementos e características próprias. Com isso, a lama residual também pode apresentar características distintas dentro de uma mesma indústria, de acordo com a quantidade e diversidade das pedras serradas.

3.2 BLOCOS DE CONCRETO

Os blocos produzidos com a lama abrasiva estão apresentados na Figura 8.

Figura 8: Blocos de concreto – Formato Tipo I (ABNT NBR 9781/2013).



Fonte: Autores (2017).

3.2.1 Caracterização física



3.2.1.1 Inspeção visual

A Figura 9 apresenta os blocos produzidos de cada traço.

Figura 9: Aspecto dos blocos de concreto confeccionados.



Fonte: Autores (2017).

O traço A, Figura 9, apresenta o bloco de concreto sem adição de lama de granito, utilizado como parâmetro para a inspeção visual. É possível observar que a adição da lama de granito não alterou significativamente a aparência dos blocos produzidos, mas alguns blocos apresentaram aspecto não homogêneo ou defeitos de descamação e de laminação, contudo, como foram produzidos poucos blocos de cada traço, já era esperado devido ao processo de fabricação, onde o primeiro lote é sempre refugado e retorna à máquina para reprocessamento e, para evitar desperdícios, este procedimento não foi realizado.

Em todos os traços os blocos apresentaram chanfro padronizado, arestas regulares, espaçador de juntas e ângulo de 90°. Para uma produção em larga escala, todos os traços produzidos tem possibilidade de apresentar aspecto homogêneo livre de descamação e de laminação, conforme norma ABNT NBR 9781 (2013).

3.2.1.2 Avaliação dimensional

Segundo a norma ABNT NBR 9781 (2013) as dimensões padronizadas admitem tolerância de ± 3 mm considerando as medidas nominais de 200 mm x 100 mm x 60 mm.

Para a avaliação dimensional, conforme norma ABNT NBR 9781 (2013), foram analisados seis blocos de cada traço, as medidas de comprimento, largura e espessura estão expressas no Quadro 6.

Quadro 6: Avaliação dimensional dos blocos de concreto.

TRAÇO	DIMENSÕES (mm)	BLOCOS DE CONCRETO							
		1	2	3	4	5	6	\bar{X}	s_p
A	Comprimento	198,50	198,80	198,80	199,15	199,10	198,85	198,87	0,24
	Largura	98,00	97,90	97,85	97,85	97,50	98,00	97,85	0,18
	Espessura	60,05	60,70	60,35	62,20	62,00	62,25	61,26	1,00
B	Comprimento	199,50	199,70	198,65	197,95	198,10	198,60	198,75	0,72
	Largura	99,65	101,80	99,80	99,00	98,75	98,90	99,65	1,13
	Espessura	60,15	59,35	60,95	61,20	59,80	60,35	60,30	0,69
C	Comprimento	197,85	197,60	198,75	198,40	199,10	198,95	198,44	0,61
	Largura	98,45	98,70	99,75	99,20	98,90	99,35	99,06	0,47
	Espessura	60,30	60,05	61,80	61,00	60,85	61,60	60,93	0,69
D	Comprimento	199,30	197,40	197,25	198,80	198,20	198,50	198,24	0,80
	Largura	99,40	99,35	98,70	98,20	97,85	99,15	98,78	0,64
	Espessura	61,10	59,85	60,65	62,70	60,40	60,45	60,86	0,99
E	Comprimento	197,30	198,90	198,65	199,20	197,90	197,95	198,32	0,72
	Largura	99,10	98,25	98,80	100,40	98,20	98,70	98,91	0,81
	Espessura	59,20	62,05	61,70	61,85	60,90	59,75	60,91	1,19
F	Comprimento	199,77	197,45	198,10	199,50	197,95	198,00	198,46	0,94
	Largura	97,55	99,15	97,60	98,40	98,70	98,45	98,31	0,63
	Espessura	61,90	60,20	60,75	60,80	59,85	60,40	60,65	0,71

Fonte: Autores (2017).

Apesar de todos os blocos analisados apresentarem dimensões dentro do limite estabelecido pela norma ABNT NBR 9781 (2013), conforme Quadro 6, é necessário analisar o índice de capacidade do processo (C_p) e o índice de capacidade para processos não centrados (C_{pk}), para verificar se a amostragem realizada pode representar a produção total.

Os valores obtidos para C_p e o C_{pk} estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7: Avaliação dimensional dos blocos de concreto.

TRAÇO	DIMENSÕES (mm)	BLOCOS DE CONCRETO						
		\bar{X}	s_p	LSE	LIE	C_p	$C_{pk\ 1}$	$C_{pk\ 2}$
A	Comprimento	198,87	0,24	203	197	4,17	5,74	2,60
	Largura	97,85	0,18	103	97	5,56	9,54	1,57
	Espessura	61,26	1,00	63	57	1,00	0,58	1,42
B	Comprimento	198,75	0,72	203	197	1,39	1,97	0,81
	Largura	99,65	1,13	103	97	0,88	0,99	0,78
	Espessura	60,30	0,69	63	57	1,45	1,30	1,59
C	Comprimento	198,44	0,61	203	197	1,64	2,49	0,79
	Largura	99,06	0,47	103	97	2,13	2,79	1,46
	Espessura	60,93	0,69	63	57	1,45	1,00	1,90
D	Comprimento	198,24	0,80	203	197	1,25	1,98	0,52
	Largura	98,78	0,64	103	97	1,56	2,20	0,93
	Espessura	60,86	0,99	63	57	1,01	0,72	1,30
E	Comprimento	198,32	0,72	203	197	1,39	2,17	0,61
	Largura	98,91	0,81	103	97	1,23	1,68	0,79
	Espessura	60,91	1,19	63	57	0,84	0,59	1,10
F	Comprimento	198,46	0,94	203	197	1,06	1,61	0,52
	Largura	98,31	0,63	103	97	1,59	2,48	0,69
	Espessura	60,65	0,71	63	57	1,41	1,10	1,71

Fonte: Autores (2017).



Conforme valores apresentados no Quadro 7, nota-se que apenas o comprimento do traço A, a largura do traço A e a largura do traço C apresentaram valores maiores que 1,33 para ambos C_p e $C_{pk\text{-mínimo}}$. Com isso, não é possível afirmar que 100% da produção atende às tolerâncias estabelecidas pela norma ABNT NBR 9781 (2013). O valor de C_p foi inferior à 1,00 na largura do traço B e na espessura do traço E e, nesta situação, todos os blocos produzidos devem ser verificados.

Diante do exposto, fica evidenciado que é necessário adequar o processo, com a regulagem da máquina de prensa, ou aumentar o número de blocos de amostragem, para que diminua o nível de dispersão das medidas, garantindo um controle de qualidade eficaz para 100% dos blocos produzidos. Vale ressaltar que as medidas dos blocos estão associadas às formas de confecção (comprimento x largura) e a pressão de compressão exercida pela máquina no momento da produção (espessura), portanto, independe da quantidade de resíduo de lama de granito utilizada em cada traço.

4 CONCLUSÃO

A lama de granito utilizada para a fabricação dos blocos foi classificada como Resíduo Classe II A, não perigoso e não inerte, conforme ABNT NBR 10004 (2005), devido à concentração do elemento químico Al ter ultrapassado o limite estabelecido pela referida norma. Em relação à análise granulométrica, a dimensão máxima característica da lama residual foi de 6,30 mm e o módulo de finura foi de 1,71 atendendo aos requisitos de agregado miúdo para a fabricação de concreto, conforme norma ABNT NBR 7211 (2005).

A incorporação da lama de granito na fabricação dos blocos de concreto para pavimentação não comprometeu o aspecto visual dos blocos fabricados. Em relação à avaliação dimensional, ainda que a adição da lama não tenha influência sobre as medidas dos blocos, pois é uma característica do equipamento e das formas de fabricação, todos os blocos analisados permaneceram dentro das tolerâncias estabelecidas pela norma ABNT NBR 9781 (2013), no entanto, pelo cálculo do índice de capacidade de processo e do índice de capacidade para processos não centrados, pode-se afirmar que a amostragem não foi suficiente para garantir que todos os blocos produzidos atendam a referida norma, sendo necessário um controle de qualidade mais rigoroso.

Diante do exposto, o aproveitamento do resíduo de granito na confecção de blocos de concreto para pavimentação, objeto de estudo deste trabalho, é uma alternativa que poderá diminuir ou eliminar a necessidade de disposição desse rejeito em aterros. Contudo, ainda é necessário realizar os ensaios de resistência à compressão e absorção de água para verificar o atendimento de cada traço às exigências estabelecidas pela norma ABNT NBR 9781 (2013).

5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a composição química do resíduo de granito via Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raio-X (EDX).
- Realizar ensaio de teor de absorção de água (ABS) nos blocos de concreto elaborados.
- Determinar resistência à compressão simples (RCS) dos blocos de concreto produzidos.

ELABORATION AND CHARACTERIZATION OF CONCRETE BLOCKS WITH GRANITE WASTE INCORPORATION

ABSTRACT

The increase in number and high contamination of solid waste has become one of the major challenges faced nowadays. As industries are the most significant solid residue source, environmental management has pursued new methods of recycling and final destination. Granite industries mostly uses landfills for waste disposal, which is not optimal, creating the need for alternative ways, with shared responsibilities, of disposing. One of these ways, the incorporation of granite sludge in cement and concrete production, which has been studied by several authors, is a viable way to absorb large quantities of the residue. This paper presents the study of several concrete blocks with different residue proportions, donated by a company located in the north of Espírito Santo. The granite sludge was classified by the gradation test as a fine aggregate and by leaching and solubility tests as a Class II A residue, i.e. non-hazardous and non-inert, respectively. The appearance was not affected in any of the blocks, regardless of its sludge concentration. After testing, all the blocks' properties were within the limits established by the standard ABNT NBR 9781 (2013). However, due to the elevated spread of the measurements, the calculation of the process capacity and the non-centered process capacity indexes, it was concluded that the sampling was insufficient to guarantee all blocks produced by the proposed method meet the norm, therefore a more rigorous quality control is needed.

Keywords: Waste management. Abrasive mud. Interlocked paving.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **ABIROCHAS**: Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais no período janeiro-setembro de 2016 – Informe 07/2016, 2016. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial, 1991. 5 p.

_____. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação, 2005. 11 p.

_____. **ABNT NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Especificação, 1987. 3 p.

_____. **ABNT NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, 2013. 21 p.

_____. **ABNT NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação, 2004. 71 p.

_____. **ABNT NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, 2004. 16 p.

_____. **ABNT NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, 2004. 3 p.

_____. **ABNT NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos, 2009. 11 p.

ACCHAR, W.; VIEIRA, F. A.; HOTZA, D. Effect of marble and granite sludge in clay materials. **Materials Science and Engineering A**, n. 419, p. 306-309, 2006.

AKBULUT, H.; GÜRER, C.; ÇETIN, S.; ELMACI, A. Investigation of using granite sludge as filler in bituminous hot mixtures. **Construction and Building Materials**, n. 36, p. 430-436, 2012. 

AL-HAMAIEDEH, H. D.; KHUSHEFATI, W. H. Granite Sludge Reuse in Mortar and Concrete. **Journal of Applied Sciences**, v. 3, n. 13, p. 444-450, 2013.

ALBERTAZZI G. Jr, A.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. 1 ed. São Paulo: Manole, 2008. 424 p.

ALVES, M. S. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos**. 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

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**, n. 45, p. 1-10, 2013.

BARBOSA, J. F.; COSTA, V. S.; LIMA, M. R. P. Avaliação da utilização de lama abrasiva gerada no beneficiamento de mármore e granito para confecção de telhas de concreto. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 8, n. 1, p. 30-35, 2013.

BERTOSSI, A. P. A.; NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N.; PRADO, A. C. A.; DAMASCENO, C. A.; POLIDORO, J. C. Influência da utilização do resíduo fino de beneficiamento de Rochas Ornamentais Silicáticas na qualidade do solo e da água. **Geociências**, v. 31, n. 2, p. 185-195, 2012.

BINICI, H.; SHAH, T.; AKSOGAN, O.; KAPLAN, H. Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 208, p. 299-308, 2008.

COSTA, A. V.; GUMIERI, A. G.; BRANDÃO, P. R. G. Interlocking concrete blocks produced with sinter feed tailings. **IBRACON Structures and Materials Journal**. v. 7, n. 2, p. 228-259, 2014.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 1, p. 53-68, 2002.

HOJAMBERDIEV, M.; EMINOV, A.; XU, Y. Utilization of muscovite granite waste in the manufacture of ceramic tiles. **Ceramics International**, n. 37, p. 871-876, 2011.

LI, Y.; YU, H.; ZHENG, L.; WEN, J.; WU, C.; TAN, Y. Compressive strength of fly ash magnesium oxychloride cement containing granite wastes. **Construction and Building Materials**, n. 38, p. 1-7, 2013.

LIMA, R. C.O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n. 3, p. 405-418, 2008.

MÁRMOL, I.; BALLESTER, P.; CERRO, S.; MONRÓS, G.; MORALES, J.; SÁNCHEZ, L. Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. **Cement & Concrete Composites**, n. 32, p. 617-622, 2010.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C.; LIRA, H. L. Recycling of granite industry waste from the northeast region of Brazil. **Environmental Management and Health**, v. 13, n. 2, p. 134-141, 2002.

MOURA, W. A.; LEITE, M. B. Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação. **REM – Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 2, p. 147-154, 2011.

PIETROBON, C. L. R.; BITENCOURT, M. P.; GIMENES, M. L.; BERGAMASCO, R.; COLANZI, J.; PIETROBON, C. E. Estudos preliminares sobre estabilização/solidificação - e/s - de lodo de tratamento de lavanderia têxtil para reutilização como argamassa de construção: exame de caso para Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. v. 24, n. 6, p. 1659-1664, 2002.

RAMOS, T.; MATOS, A. M.; SCHMIDT, B.; RIO, J.; COUTINHO, J. S. Granitic quarry sludge waste in mortar: Effect on strength and durability. **Construction and Building Materials**, n. 47, p. 1001-1009, 2013.

SILVA, J. B.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M.; ACCHAR, W. Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. **Cerâmica**, n. 51, p. 325-330, 2005.

TORRES, P.; FERNANDES, H. R.; OLHERO, S.; FERREIRA, J. M. F. Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. **Journal of the European Ceramic Society**, n. 29, p. 23-30, 2009.

VITÓRIA STONE FAIR. **O Setor**. Disponível em: <<http://www.vitoriastonefair.com.br/site/2013/pt/setor>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

