

## **Produção de matrizes cimentícias aditivadas com resíduo de corte e beneficiamento de granito**

*Production of cement matrices doped with residue cutting and processing of granite*

Tatiana Nunes Oliveira (1); Douglas Marcus de Oliveira (2); Augusto Cesar da Silva Bezerra (3);  
Viviane de Jesus Gomes (4); Ricardo André Fiorotti Peixoto (5)

- (1) Mestre, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
(2) Engenheiro Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
(3) Professor Mestre, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
(4) Professora Mestre, Universidade do Estado de Minas Gerais  
(5) Professor Doutor, Universidade Federal de Ouro Preto -MG  
Rua Coronel Inácio Murta, 108, Bairro Jardim Itaú, Vespasiano. CEP 33200-000  
[clefimalo@yahoo.com.br](mailto:clefimalo@yahoo.com.br)  
(31)88595209

### **Resumo**

Tendo em vista contribuir para a redução do impacto gerado pela atividade industrial de beneficiamento de rochas ornamentais e com processos para construção civil a partir do desenvolvimento de materiais de base tecnológica de comprovada eficiência, apresenta-se um estudo sobre a viabilidade técnica da utilização de resíduos da atividade industrial de beneficiamento de granito como adição para produção de matrizes cimentícias. Realizou-se ensaios físicos para matrizes no estado endurecido com diferentes teores e tipos de adições. Análises ambientais indicaram que resíduo de beneficiamento de granito pertence à classe II A (não inerte). A ativação mecânica do resíduo indicou que diferentes energias de moagens não produziram significativa diferença nos materiais. A adição do resíduo ativado e in-natura em matrizes de cimento Portland produziu resultados de resistência à compressão inferiores aos valores de referência, embora tenha se verificado para as mesmas adições, incrementos significativos para os resultados de resistência a tração quando comparados aos valores de referência obtidos.

*Palavras chave: Lama de granito; Matriz Cimentícia; Sustentabilidade; Base Tecnológica.*

### **Abstract**

In order to contribute to reducing the impact of industrial activity generated by the processing of ornamental and building construction processes from the development of materials technology base of proven effectiveness, presents a study on the feasibility of using waste of industrial processing of granite as addition for production of cement. We carried out physical tests for arrays in the hardened state with different levels and types of additions. Analysis indicated that environmental waste processing granite belongs to the class II (non-inert). The mechanical activation of the residue indicated that the different energies of mills produced no significant difference in materials. The addition of waste activated and in-natura in arrays of Portland cement produced results of compressive strength lower than the reference values, although it has been found for these additions, significant increases for the results of tensile strength when compared to baseline obtained.

*Keywords: Granite Lama; cementitious matrix, Sustainability, Technology Base.*

## 1 Introdução

O setor industrial consome grande quantidade de matéria prima o que torna este produto cada vez mais escasso na natureza propiciando a elevação de seu valor no mercado além de realizar danos irreparáveis ao meio ambiente. Por outro lado, grande quantidade desta matéria prima é desperdiçada durante o processo de industrialização gerando grande quantidade de resíduos. Assim, com a transformação de matérias primas, de modo a torná-las úteis para a sociedade, o homem se torna responsável pela produção de quantidades apreciáveis de resíduos inúteis e que ao longo do tempo acabam por comprometer o meio ambiente (FELLENBERG, 1980). O principal objetivo para o desenvolvimento sustentável das atividades industriais se centraliza na busca por reciclagem de suas matérias-primas tornando possível a diminuição do extrativismo desordenado de recursos minerais.

O setor da indústria das rochas ornamentais gera elevada quantidade de resíduos na forma de lama com elevados teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$  (MENEZES et al., 2002) que é constituída basicamente de: água, cal e pó de rocha.

Estima-se que a perda total na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais seja de 70%, onde 40% se refere à perda na lavra e o restante se refere à perda no beneficiamento que pode alcançar até 25% dos blocos aos serem transformados em chapas (ALMEIDA e CHAVES, 2002).

Frequentemente, na região metropolitana de Belo Horizonte, resíduos e rejeitos provenientes do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais recebem destinação inadequada quando descartados de maneira irregular na natureza sem submissão a tratamento para reduzir a quantidade de constituintes poluentes conforme figura 1.



Figura 1 - Efluente de resíduo de serragem de granito descartado de forma irregular.

A indústria da construção civil busca por processos capazes de criar concretos com maior durabilidade e resistência adicionando novos materiais à mistura convencional, o que influencia na qualidade final do concreto que, segundo Monteiro (2003), é segundo material mais utilizado no mundo. A viabilidade da utilização de adições de resíduos industriais, como escória de aciaria (OLIVEIRA *et al.*, 2010) e outros, na produção de argamassas convencionais tem apresentando contribuições significativas relacionadas à trabalhabilidade, deformação, resistência e permeabilidade na fabricação de matrizes de cimento o que contribui com princípios relacionados à sustentabilidade ambiental na reciclagem de resíduos industriais, redução de emissão de poluentes e diminuição do consumo de matérias primas.

## 2 Objetivo

Buscando contribuir para a sustentabilidade nas indústrias da construção civil e de rochas ornamentais, promover a diminuição dos impactos ambientais causados pelo resíduo (lama de granito) e a criação de produtos de base tecnológica, este trabalho tem como objetivo a determinação das propriedades mecânicas em solicitação à compressão uniaxial e à tração na flexão de matrizes cimentícias produzidas com incorporação de adições minerais com diferentes teores e tipos de adições obtidas através do pós-processamento de lama de granito, gerada em processo de beneficiamento à fio diamantado (sem granalha metálica).

## 3 Materiais e métodos

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Cimento Portland

No experimento foi utilizado o cimento CPV-ARI da empresa HOLCIN em virtude da sua alta resistência em baixas idades e por possuir pequena quantidade de adição mineral.

#### 3.1.2 Agregado miúdo

Para a produção das matrizes cimentícias utilizou-se areia proveniente de leito de rio disponível na região metropolitana de Belo Horizonte.

#### 3.1.3 Adição

Para produção das adições utilizou-se, como adição mineral, lama de granito proveniente de indústria localizada em Cachoeiro de Itapemirim, no estado do Espírito Santo. O resíduo foi coletado em pista de corte onde se processa apenas granito e o corte dos blocos é realizado utilizando-se tear de fio diamantado, o que assegura a ausência de teor de granalha ou fração metálica na amostra.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Modelo experimental

Para a produção de matrizes cimentícias produziu-se adições a partir de lama de granito ativada em moinho de bolas de porcelana. Matrizes com adições minerais ativadas e *in natura* em teores de adição ao cimento de 2%, 5%, 10% e 20% e ainda, sem adição mineral foram processadas com fator água/cimento constante de 0,4 e teor único de cimento.

Assim, foram produzidas 13 dosagens distintas, conforme tabela 1, como adição para matrizes cimentícias e, cada traço foi analisado segundo seu comportamento mecânico aos 1, 3, 7, 28 e 56 dias de idade.

Tabela 1 – Dosagens para matrizes cimentícias

Teor (%)	Tipo de adição
0	REF
2	RGN
5	RGN
10	RGN
20	RGN
2	RGA12
5	RGA12
10	RGA12
20	RGA12
2	RGA24
5	RGA24
10	RGA24
20	RGA24

As terminologias utilizadas para a designação das diferentes adições são:

REF - referência

RGN - resíduo de granito *in natura*

RGA12 - resíduo de granito ativado por 12 horas

RGA24 - resíduo de granito ativado por 24 horas

### 3.2.2 Areia

#### 3.2.2.1 Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado com a utilização de um conjunto de peneiras sucessivas da série normal que atendem a ABNT NBR NM 248/2003. Duas amostras foram peneiradas e realizou-se a pesagem da quantidade de material retido em cada uma das peneiras.

### 3.2.2.2 Massa específica

A determinação da massa específica do agregado (areia) foi realizado com a utilização do frasco de Chapman segundo a ABNT NBR 9776/87.

### 3.2.2.3 Massa unitária

A determinação da Massa Unitária se deu conforme a ABNT NBR 7251/82 para agregado em estado solto. Utilizou-se um vasilhame paralelepípedo com dimensões mínimas de base 316mm x 316mm, altura 150mm e volume 15dm<sup>3</sup> para agregados com diâmetro máximo de 4,8mm.

### 3.2.2.4 Teor de umidade

Seguindo a ABNT NBR 9939/1987, realizou-se o ensaio para a determinação do teor de umidade da amostra de agregado (areia). Após secas ao ar as amostras foram pesadas e colocadas em estufa a 105°C até constância de massa.

### 3.2.3 Lama de granito

A amostra foi seca ao ar por 7 dias, acondicionada em ambiente protegido e revolvida periodicamente 3 vezes ao dia a fim de produzir secagem homogênea.

#### 3.2.3.1 Ativação da amostra

Uma amostra de 500g de lama de granito foi seca em estufa à temperatura controlada de 105°C até constância de massa. Logo após, realizou-se a moagem do material em um moinho com vaso de porcelana (36cm de diâmetro e 46cm de comprimento) e carga em esferas de porcelana (42 esferas com diâmetro de 5,2cm e 506 bolas com diâmetro de 2,6cm) durante todo o processo de moagem. Parte da amostra seca foi moída 12 horas e outra parte foi moída 24 horas a fim de promover a ativação mecânica do resíduo em tempos diferentes.

As denominações para as amostras foram as seguintes:

- RGN - resíduo de granito que não sofreu ativação;
- RGA12 - resíduo de granito ativado mecanicamente por 12 horas;
- RGA24 - resíduo de granito ativado mecanicamente por 24 horas.

#### 3.2.3.2 Massa específica

Determinou-se a massa específica das três adições distintas de material (RGN, RGA12 e RGA24) segundo prescrições da ABNT NBR NM 23/2000 utilizando-se do frasco de Le Chatelier.

#### 3.2.3.3 Caracterização ambiental

Foram realizadas as seguintes análises para amostra de resíduo de granito *in natura* (RGN):

- Classificação de resíduos sólidos conforme a NBR 10.004/2004;
- Lixiviação segundo a NBR 10.005/2004;
- Solubilização de acordo com a NBR 10.006/2004.

### 3.2.4 Matrizes cimentícias

Os experimentos foram conduzidos a partir de dosagens de com um traço composto de uma parte de cimento, três partes de areia (em massa), e com fator água/cimento de 0,48, determinado de acordo com o espalhamento obtido através da utilização da mesa de fluxo, ABNT NBR 7215 (1996).

#### 3.2.4.1 Resistência à compressão uniaxial

Foram produzidos 205 corpos de prova cilíndricos ensaiados à compressão uniaxial em idades 1,3, 7, 28 e 56 dias com adições de 2%, 5%, 10% e 20% para cada uma das três adições produzidas em pós-processamento (RGN, RGA12 e RGA24).

Foram criadas séries de 3 corpos de prova para cada parâmetro por idade . Os resultados foram agrupados por médias segundo desvio padrão calculado.

Os corpos de prova foram moldados em moldes cilíndricos (50x100mm) de acordo com prescrições normativas da ABNT NBR 7215/1996 em 4 camadas compactadas com 30 golpes cada, e, após período de cura foram capeados com enxofre.

O ensaio de resistência à compressão uniaxial foi realizado na prensa EMIC, ilustrada na figura 2, com aplicação de carga uniforme e sem choque de 500 ( $\pm$  50) N/s em conformidade com ABNT NBR 7215/1996 com velocidade de carregamento, equivalente a  $0,25 \pm 0,05$  MPa/S.



Figura 2 – Prensa utilizada para a realização do ensaio de compressão uniaxial.

### 3.2.4.2 Resistência à tração na flexão

Foram moldados 205 corpos de prova prismáticos ensaiados à tração na flexão em idades 1,3, 7, 28 e 56 dias com adições de 2%, 5%, 10% e 20% para cada uma das três adições propostas. Foram avaliadas séries de 3 corpos de prova para cada parâmetro por idade segundo prescrições da ABNT NBR 13279/2005. Os resultados foram agrupados por médias segundo desvio padrão calculado. Para condução dos ensaios mecânicos de tração na flexão, os corpos de prova foram identificados segundo sua dosagem e receberam marcações para acondicionamento no sistema de introdução de cargas da prensa EMIC, conforme figura 3 a seguir, a fim de que os aparelhos de apoio e sollicitação pudessem ser posicionados de forma precisa e equivalente em todos os corpos de prova.

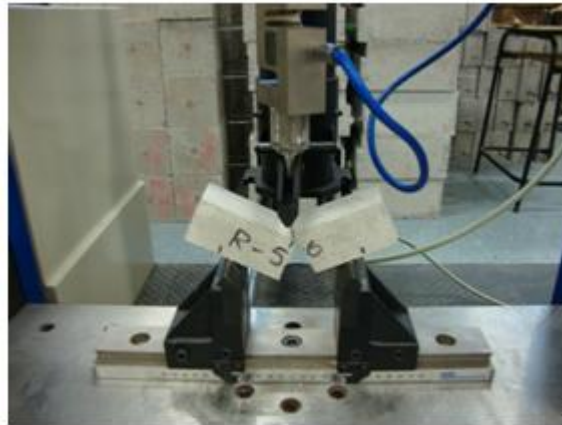


Figura 3 – Corpo-de-prova sendo rompido após carga aplicada de 50N/s.

## 4 Resultados e discussão

### 4.1 Areia

#### 4.1.1 Granulometria

Os resultados do ensaio de granulometria da amostra do agregado miúdo utilizado (areia) relacionam-se à média das duas amostras analisadas, conforme prescrições normativas. A figura 4 representa sua curva granulométrica.

O material ensaiado como agregado miúdo (areia) possui módulo de finura 2,15 e dimensão máxima de 2,4 mm.

A areia utilizada no experimento apresenta distribuição granulométrica aceitável com distribuição entre as zonas ótima e utilizável que garante boa distribuição de grãos.

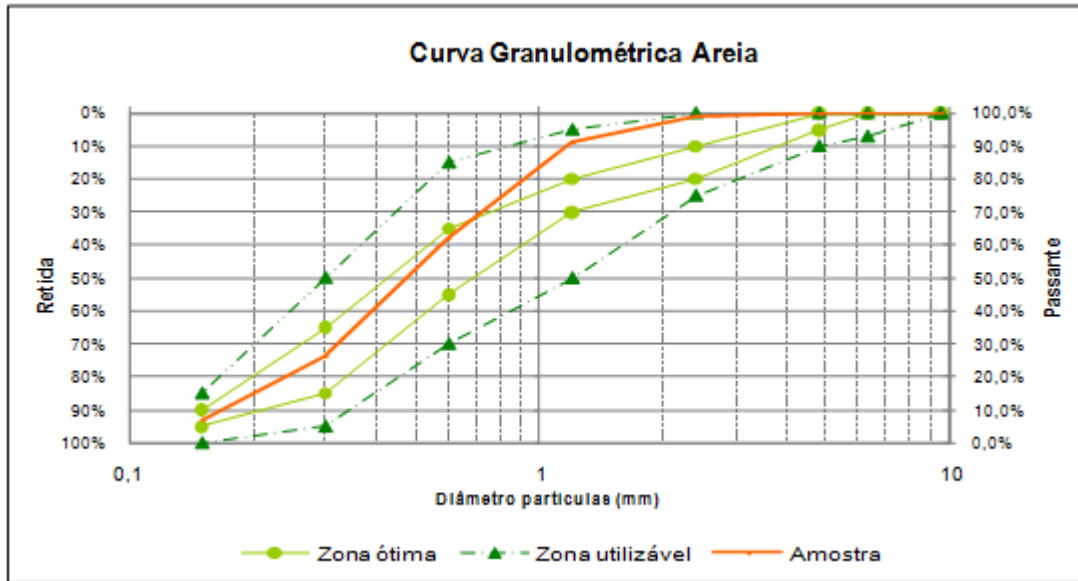


Figura 4 – Gráfico da curva granulométrica do agregado miúdo (areia).

#### 4.1.2 Massa específica

O ensaio apresentou como resultado  $2,564 \text{ g/cm}^3$  e relaciona-se à média das amostras analisadas, conforme prescrições normativas.

#### 4.1.3 Massa unitária

Determinou-se a massa unitária para o agregado miúdo utilizado (areia) em estado solto obtendo  $1,36 \text{ Kg/dm}^3$  como resultado da média de 3 determinações dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado.

##### 4.1.3.1 Teor de umidade

O resultado do teor de umidade da amostra de areia utilizada foi 1,16% e relaciona-se à média de três amostras analisadas.

## 4.2 Lama de granito

#### 4.2.1 Massa específica

A tabela 2 demonstra o resultado da massa específica das amostras das adições de resíduo de granito.



Tabela 2 – Massa específica das amostras de resíduo de granito.

<b>Amostra</b>	<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>RGN</b>	2,63
<b>RGA12</b>	2,73
<b>RGA24</b>	2,75

Embora não tenha ocorrido diferença significativa entre os resultados das amostras ativadas (RGAM 12 e RGAM 24), observa-se o aumento da massa específica das mesmas em comparação à amostra *in natura* (RGN) o que sugere maior superfície específica, o que é desejável para adições, conforme observado por AITCIN (2003) e LAWRENCE (2003).

#### 4.2.1.1 Caracterização ambiental

De acordo com os ensaios realizados, o resíduo de granito *in natura* (RGN) se caracteriza como classe IIA – resíduo não inerte.

Não existe nenhum parâmetro do ensaio de lixiviação acima do permitido e, o Alumínio encontrado acima do limite do ensaio de solubilização se justifica devido à presença de argilo-minerais (como AIH dentre outros) encontrados na própria constituição do granito.

### 4.3 Matrizes cimentícias

#### 4.3.1 Resistência à compressão uniaxial

Serão apresentados a seguir, os resultados relacionados às propriedades mecânicas das matrizes produzidas com adições RGN, RGA12, RGA24 e REF.

Os gráficos representam evolução da resistência à compressão (valores médios) para as idades de 1, 3, 7, 28 e 56 dias e se apresentam nas figuras 5, 6, 7, 8 e 9 respectivamente.

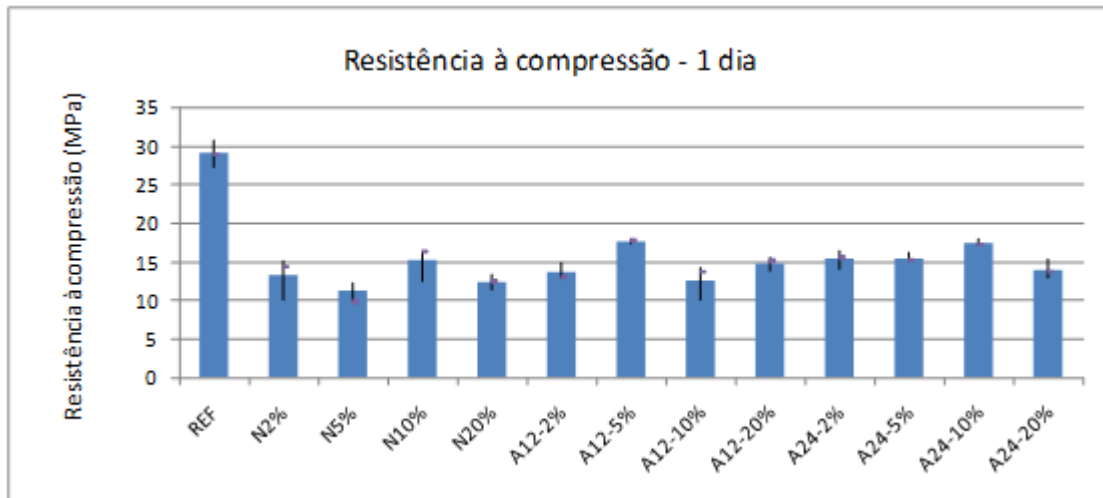


Figura 5 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à compressão - 1 dia.

Observa-se que, na idade de 1 dia, as matrizes com adições de lama de granito possuem resistência à compressão uniaxial inferior à matriz referência. Dentre as matrizes com adições, as matrizes RGA12 – 5% e RGA24 - 10% obtiveram melhores resultados em comparação às demais adições.

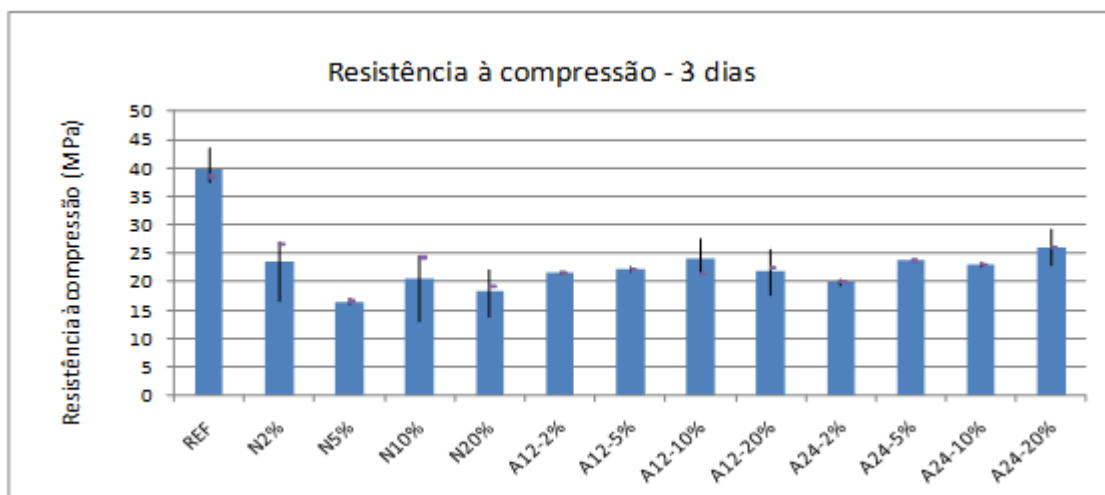


Figura 6 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à compressão - 3 dias.

Na idade de 3 dias, as matrizes com adições de lama de granito possuem resistência à compressão uniaxial inferior à matriz referência. As matrizes RGA12 – 10%, RGA24 – 5% e RGA24 - 20% obtiveram melhores resultados em comparação às demais adições.

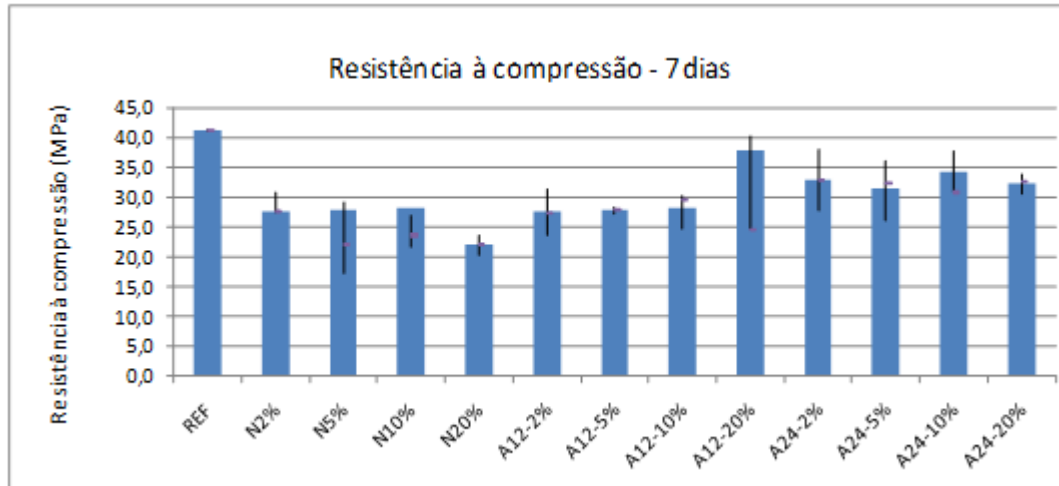


Figura 7 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à compressão - 7 dias.

Observa-se que, na idade de 7 dias, as matrizes com adições de lama de granito possuem resistência à compressão uniaxial inferior à matriz referência. Porém, as matrizes com adições RGA12 – 20% e RGA24 adquirem um ganho de resistência com relação à matriz referência quando comparada às idades de 1 e 3 dias.

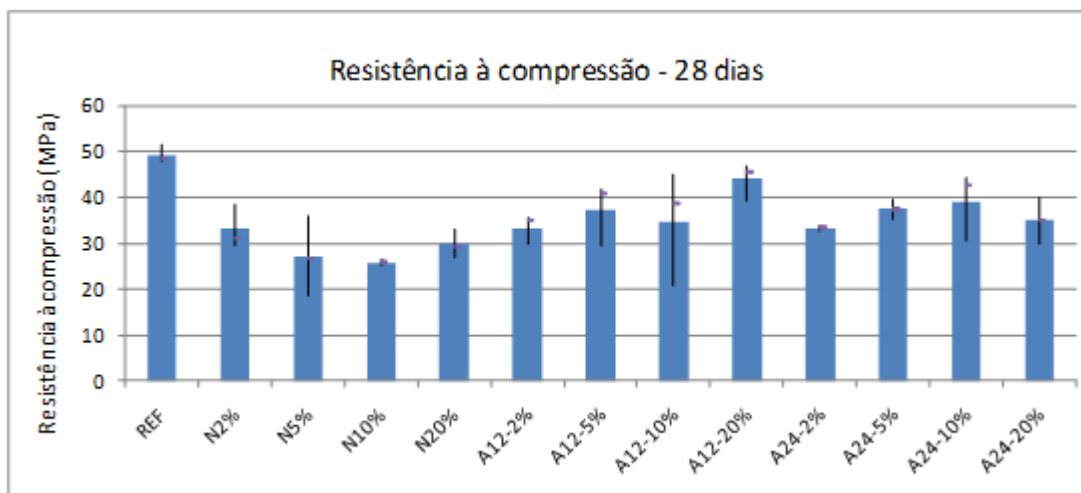


Figura 8 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à compressão - 28 dias.

Aos 28 dias de idade, observa-se que, no ensaio de resistência à compressão uniaxial, a matriz referência possui resultado superior às matrizes com adições de lama de granito. Porém, a matriz com adição RGA12 – 20% adquirem menor diferença de resultado em comparação às demais adições.

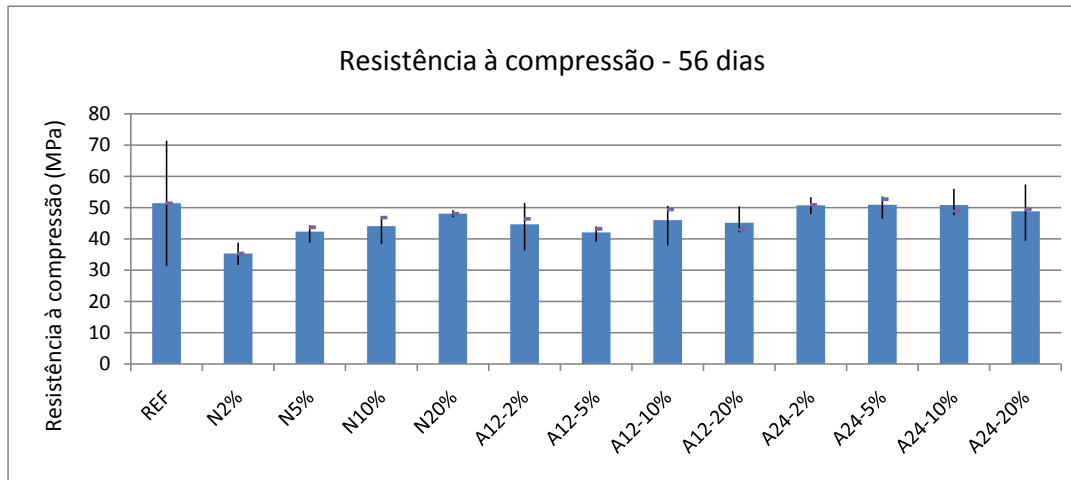


Figura 9 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à compressão - 56 dias.

Observa-se que, no ensaio de resistência à compressão uniaxial na idade de 56 dias, ocorre um ganho de resistência para todas as adições, exceto RGN 2%.

#### 4.3.2 Resistência à tração na flexão

As figuras 10, 11, 12, 13 e 14 representam a evolução da resistência à tração na flexão (valores médios) para as idades de 1, 3, 7, 28 e 56 dias, respectivamente.



Figura 10 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão - 1 dia.

Observa-se que, na idade de 1 dia, a maioria das matrizes com adições de lama de granito adquiriram resistência à tração na flexão superiores à matriz referência.



Figura 11 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão - 3 dias.

Aos 3 dias de idade, todas as matrizes com adições de lama de granito possuem resistência à tração na flexão superior à matriz referência, em especial a adição RGA12-20%.

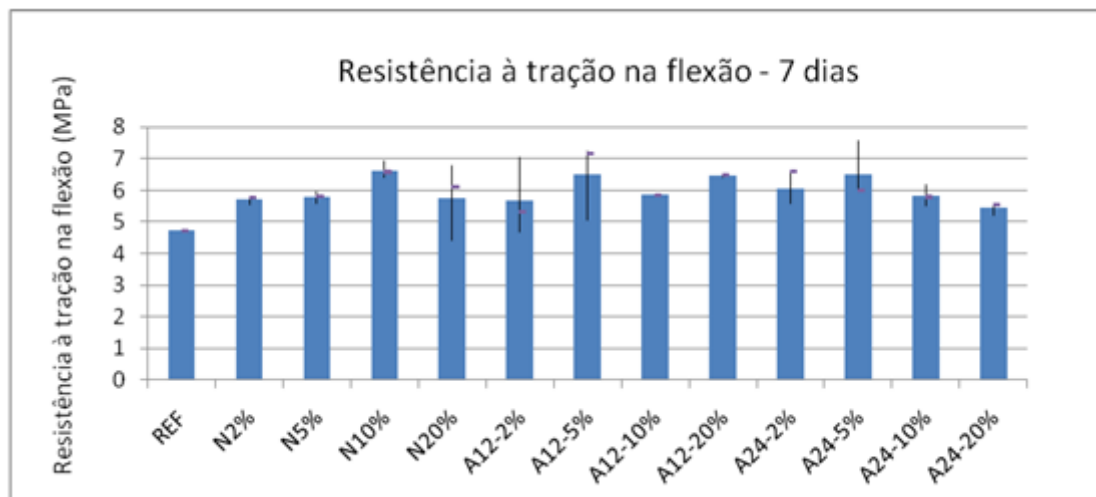


Figura 12 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão - 7 dias.

Na idade de 7 dias, as matrizes com adições RGN-10%, RGA12-5%, RGA12-20% e RGA24-10% apresentaram considerável melhora na resistência à tração na flexão em relação às demais adições e matriz referência.



Figura 13 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão - 28 dias.

Observa-se que, na idade de 28 dias, as matrizes com adições de lama de granito possuem resistência à tração na flexão superior à matriz referência. Porém, as matrizes com adições RGN-20% e RGA12-20% adquirem um ganho de resistência quando comparada às idades de 1, 3 e 7 dias.



Figura 14 - Comparação entre resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão - 56 dias.

A resistência à tração na flexão das matrizes com adições de lama de granito, aos 56 dias, foi superior à resistência à tração na flexão da matriz referência, exceto para RGN2%, que obteve uma queda em sua resistência em comparação às demais adições.

## 5 Conclusão

O programa experimental para determinação das propriedades mecânicas das matrizes em sollicitação à compressão uniaxial indica ser o traço referência (REF) mais competente para as idades 1, 3, 7 e 28 dias a pesar dos traços com adições mostrarem resultados muito semelhantes entre si. Porém, aos 56 dias observa-se emergência dos resultados indicando mesma competência para adição de RGN e REF, exceto para adição de 2%, que apresentou menor taxa de ganho de resistência dos 28 aos 56 dias.

Quanto à resistência à tração na flexão, observa-se um crescimento de todas as adições em relação à matriz referência, exceto RGN2% para todas as idades. Entre 7 e 28 dias as amostras de RGA12 apresentam um ganho considerável de resistência que permanece crescente até os 56 dias. Já as amostras de RGA24 apresentam emergência dos valores para todas adições nas idades mais avançadas.

## 6 Agradecimentos

Grupo de Pesquisa RECICLOS  
CEFET-MG  
Santo Antônio Granitos Ltda  
CNPQ  
FAPEMIG

## 7 Referências bibliográficas

ALMEIDA, S. L. M., CHAVES, A. P.. **Aproveitamento de rejeito de pedras de Santo Antônio de Pádua**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 69 P.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215. **Cimento Portland – Determinação da Resistência á compressão** . Rio de Janeiro.1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. **Classificação de Resíduos Sólidos** - Classificação. Rio de Janeiro, abril 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005. **Lixiviação de Resíduos - Procedimento**. Rio de Janeiro, abril 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006. **Solubilização de Resíduos. Procedimento**, abril 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. **Agregados - determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

COMERCIAL GUIDONI / PRODUTOS PARA MINERAÇÃO. Disponível em: [http://www.comercialguidoni.com.br/pages/produtos\\_FD\\_TearMultiFio.aspx](http://www.comercialguidoni.com.br/pages/produtos_FD_TearMultiFio.aspx). Acesso em: 09/02/2011.

FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da Poluição ambiental**. 2 ed. São Paulo: USP, 1980. 193p.

MENEZES R. R. *et al.* **Uso de rejeitos como matérias-primas cerâmicas**. Paraíba, 2002. p. 92-101.

MONTEIRO, P. J. M.. **Controle da Microestrutura para o Desenvolvimento de Concretos de Alto Desempenho**. São Paulo, SP, p.4, 1993.

OLIVEIRA, T. N. *et al.* **Comportamento de blocos de concreto produzidos com escória de aciaria para alvenarias**. I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador. Bahia 2010.