



Produção de Areia Padronizada Sílica -

Reciclagem de resíduo sólido da mineração

Marina Bedeschi Dutra(1); Bárbara Ponciano de Souza (2); Júnio dos Santos Batista(3); Alexandre Abrahão Cury (4); Ricardo André Fiorotti Peixoto(5)

(1) *Mestranda em Engenharia Estrutural e de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto*

(2) *Mestranda em Engenharia Estrutural e de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto*

(3) *Técnico em edificações, Instituto Federal de Minas gerais*

(4) *Professor Doutor, Departamento de Mecânica Aplicada e Computacional, Universidade federal de Juiz de Fora*

(5) *Engenheiro Civil, DSc, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto
Rua João Pedro da Silva, 114, Bauxita- Ouro preto - MG; marina.bedeschi@yahoo.com.br*

Resumo

São muitos os impactos ambientais gerados pela mineração, principalmente no que se refere à geração e disposição inadequada de resíduos sólidos. Da mesma forma, o setor construtivo apresenta impactos relacionados ao elevado consumo de recursos naturais não renováveis. Toda a sociedade está à busca de alternativas para minimização destes impactos e este trabalho vem propor uma forma de contribuir para o desenvolvimento de novos materiais e tecnologia, úteis ao setor da construção civil, através da produção de areia normal, fabricada a partir da britagem e separação do rejeito da mineração de ferro silício reduzindo a utilização de areia normal natural e ao mesmo tempo proporcionar destinação ambientalmente correta aos resíduos da mineração. A areia normal produzida foi caracterizada de acordo com a normatização brasileira, e, com a finalidade de comparar seu desempenho, foram produzidas argamassas utilizando a areia normal brasileira, produzida pelo IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica), e a areia normal produzida com o rejeito. As argamassas produzidas foram caracterizadas em seu estado plástico e endurecido, física e mecanicamente. Ainda em relação à determinação do desempenho, foram produzidas dosagens para determinação da expansibilidade das matrizes, pelo método acelerado em autoclave. As areias produzidas com rejeitos apresentaram características físicas idênticas àquelas determinadas para areia normal brasileira (ANB). As argamassas produzidas com rejeito também apresentaram comportamento no estado plástico e endurecido idênticos ao comportamento daquelas produzidas com ANB. Para o ensaio de expansibilidade, as matrizes produzidas com rejeito mostraram-se estáveis. Dessa forma, de acordo com os resultados obtidos, o presente trabalho, apresenta viabilidade técnica da utilização de rejeito da mineração de ferro silício como uma alternativa para a produção de agregados para construção civil e ainda contribui para a redução dos pátios de disposição desses resíduos sólidos, gerados pela mineração, e em contraponto, contribui para a redução do consumo de agregados naturais, por parte do setor da construção civil.

Palavra-Chave: resíduo mineração; argamassa de cimento Portland; areia normal; sustentabilidade

Abstract

There are many environmental impacts caused by mining activity, particularly with regard to the generation and improper disposal of solid waste. Likewise, the construction sector has impacts related to high consumption of non-renewable natural resources. The whole society is on the search for alternatives to minimize these impacts and this paper proposes a way to contribute to the development of new materials and technology, useful to the construction industry, through the production of standard sand, made from the crushing and separation of the waste of the iron silicon reducing the use of standard natural sand while providing environmentally friendly waste disposal from mining. The standard sand produced was characterized according to Brazilian regulation, and, in order to compare their performance, mortars were produced using standard Brazilian sand, produced by IPT (Institute of Technological Research), and standard sand produced with the waste. The mortars produced were characterized in its plastic and



hardened, physical and mechanical condition. For determination of the performance, were produced the mortars to determine the expansion of the matrix by the accelerated method in autoclave. The sands tailings had produced with identical physical characteristics to those determined for standard Brazilian sand (SBS). The mortars produced with waste also showed behavior in the plastic and hardened behavior identical to those produced with SBS. For testing expansion, the matrices produced with tailings were stable. Thus, according to the results, this paper presents technical feasibility of using tailings from mining of iron silicon as an alternative for the production of construction aggregates and also contributes to the reduction of the courtyards of these solid waste disposal generated by mining, and in contrast, contributes to reducing the consumption of natural aggregates, by the construction sector.

Keywords: Mining residue; Portland cement mortar; standard sand; sustainability.

1. Introdução

A quantidade de rejeitos gerados, a cada ano, pela mineração, torna inevitável sua disposição em grandes bacias de contenção, assim como também a necessidade de se encontrar finalidades para esse material, de modo a evitar seu acúmulo e minimizar os impactos ambientais gerados na extração mineral. As principais fontes de degradação no processo da mineração são a deposição de resíduos provenientes do processo de beneficiamento, e a disposição de materiais estéril, ou inertes, proveniente do decapeamento superficial (IBRAM, 1987). O setor construtivo apresenta elevado consumo de matérias-primas naturais, como a areia, com consumo em 2002 no Brasil de cerca de 229,6 milhões de toneladas (ALMEIDA, 2005). O alto consumo da areia é explicado, porque grande parte das edificações brasileiras utiliza como material principal o concreto de Cimento Portland. O concreto de Cimento Portland consome por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita) e 40% de agregado miúdo (areia). Associado a esse panorama, também se somam as expectativas das empresas de agregados para a construção civil um crescimento acumulado de 29%, no período de 2010-2016, podendo ser esse crescimento ainda maior devido a ações extemporâneas como as obras de infraestrutura para a Copa do Mundo de 2014, as Olimpíadas de 2016 e também o PAC 2 (PENNA, 2010).

Dentro do contexto ambiental, é importante salientar a legislação que estabelece critérios para que a produção minimize ao máximo os danos ao meio ambiente. Mas existe, em vários processos produtivos, a impossibilidade de eliminá-los totalmente. Uma alternativa para o problema de geração de resíduos seria a sua reciclagem, que possibilita a conservação de recursos naturais e permite uma economia de energia.

Em relação à obtenção de areia para construção civil, além das restrições ambientais à exploração e seu alto preço, a disponibilidade de areia natural de boa qualidade é, em muitos lugares, extremamente difícil, o que justifica o interesse em desenvolver tecnológicas alternativas. Jazidas de areia estão cada vez mais escassas e distantes dos centros consumidores, bem como o gasto com transporte eleva muito seu custo final. Devido a esses fatores, o setor da construção civil vem desenvolvendo medidas mais sustentáveis e cada vez mais se mostrando com grande potencial de se tornar consumidor de resíduos provenientes de outros setores como o da mineração e o metalúrgico.

No Brasil são extraídos aproximadamente 2.000.000ton./ano, de quartzo para a produção de silício e ferro-silício, do total extraído cerca de 15% são descartados na forma de



rejeito e lascas de quartzo, durante os processos de extração, separação, transporte e lavagem (ARGONZ, 2001).

Considerando, dessa forma, os impactos ambientais causados tanto pela disposição dos resíduos sólidos da mineração de silício, assim como a exploração intensa dos recursos naturais para obtenção de matéria prima para a construção civil, propõe-se neste trabalho, contribuição ao desenvolvimento científico e tecnológico de matéria-prima com aplicação na construção civil, como a areia normal produzida a partir de resíduos sólidos da mineração de silício, induzindo dessa forma a minimização dos impactos causados pelos setores de mineração de silício e da indústria da construção civil.

2. Materiais e métodos

2.1. Materiais

2.1.1. Agregados artificiais

O rejeito utilizado como agregado artificial (AA) nesse experimento é proveniente das operações de processamento e extração de quartzo para a obtenção de minérios, para a produção de ligas de silício, para a siderurgia.

2.1.2. Agregados naturais

O agregado natural (AN) utilizado neste trabalho é a areia normal brasileira produzida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), proveniente das margens do rio Tietê. A areia normal brasileira é um material de referência utilizado neste trabalho. O IPT fornece essa areia seguindo a NBR 7214/12- Areia normal para ensaio de cimento, o fornecimento é feito em embalagens de 25 kg, divididas nas frações granulométricas: grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100).

2.1.3. Cimento Portland

Para a produção das argamassas foi utilizado o Cimento CPIII-40. Para a realização do ensaio de expansão na autoclave, devido à especificação da norma, foi utilizado o cimento CPV-ARI, que é um cimento de alta resistência inicial.

2.1.4. Água

Para a produção das argamassas, com exceção dos corpos de prova feitos para os ensaios de durabilidade, será utilizada água comum, da torneira. Já no ensaio de expansão na autoclave será usada água destilada, conforme prescrição da norma.

2.2. Métodos

2.2.1. Produção da areia normal

Para a produção da areia normal a partir do processamento dos AA, coletaram-se amostras representativas nas bacias de rejeito da mineração de quartzo, NBR MN 26/09. Essas amostras foram acondicionados em recipientes plásticos inertes e isentos de contaminações, hermeticamente fechados, afim de que fossem preservadas as



características do material, e transportadas ao laboratório de materiais de construção civil $Imc^2/UFOP$.

O material foi segregado granulometricamente em duas frações; uma retida na peneira de 4,8mm e outra passante na peneira de 4,8mm. Para o desenvolvimento experimental proposto, foram utilizadas as massas passantes na peneira de 4,8mm. Esse material foi cominuído em britador de mandíbulas. Após a britagem o material foi granulometricamente segregado segundo as faixas necessárias para a composição da areia normal. A fração com diâmetro médio superior a 2,4mm, retornava ao britador, e esse variava a abertura de britagem, gradativamente a cada passagem do material (6; 5,5; 4,5; 4; 3,5; 3; 2,5; 2; 1mm), até que, todo o material se encontrasse dividido nas granulometrias: 2,0 mm, 1,2mm, 600 μ m, 300 μ m e 150 μ m.

2.2.2. Caracterização da areia normal

A caracterização das areias normal brasileira e areia normal reciclada foram realizadas; análise granulométrica para areia normal (NBR 7214/12), a determinação do material pulverulento (NBR NM 46/03), o teor de umidade (NBR 7214/12), as impurezas orgânicas (NBR NM 49/01) e a determinação da massa específica (NBR NM 52/03) e massa específica aparente (NBR NM 52/03).

Adicionalmente realizaram-se análise química, por fluorescência de raios-X, utilizando as frações da areia artificial retida e passante na peneira 150 μ m. Afim de que se determinassem a mineralogia e a microestrutura utilizou-se método de difração de raios-X, através da fração mais fina da areia artificial (150 μ m). E por fim, foram conduzidas análises via microscopia eletrônica de varredura (MEV), que permitiram identificar a morfologia dos grãos de areia obtidos a partir do processamento dos resíduos, utilizou-se também a fração retida na peneira de 150 μ m.

2.2.3. Produção da argamassa

Para produção das argamassas, foi utilizada a areia normal brasileira (ANB), e a areia normal produzida com resíduos de mineração (ANR), lavada. As argamassas foram produzidas a base de areia, cimento e água, sem adições. Utilizando o cimento CPIII-40 para os ensaios de caracterização das argamassas e o CPV-ARI para o ensaio de expansão na autoclave, conforme prescrições normativas NBR 15577-04/08. O traço utilizado nos experimentos, foi definido a partir da fixação do valor para o índice de consistência de 220 mm para as argamassas. Dessa forma, obteve-se o traço: cimento; areia; água, respectivamente: 1; 2,1; 0,5. O traço utilizado para o ensaio de expansão em autoclave foi de 1; 2,25; 0,47, de acordo com as prescrições NBR 15577-04/08.

2.2.4. Caracterização da argamassa

Conforme prescrições normativas determinou-se o índice de consistência (NBR 13276/05), o teor de ar incorporado (NBR 13278/05), a densidade de massa (NBR 13278/05): para o estado fresco. Os valores para resistência mecânica através dos ensaios de resistência à compressão axial (NBR 13279/05) e, de resistência à tração na flexão (NBR 13279/05), foram determinadas para as argamassas em seu estado endurecido.

2.2.5. Análise da durabilidade das argamassas

2.2.5.1. Método da autoclave

Conforme prescrições normativas ASTM C-151, o ensaio foi realizado com o objetivo de verificar a expansão das barras de argamassa, quando expostas a elevadas temperaturas e pressão. Os corpos de prova utilizados foram prismáticos, de seção quadrada, com 2,5cm de lado e 28,0cm de comprimento. Os corpos de prova continham dois pinos de aço inoxidável, um em cada extremidade, para a determinação das dimensões e suas variações segundo solicitações impostas pelo método, com auxílio de extensometria. A argamassa foi confeccionada conforme NBR 15577-04/08. Depois de 24h na câmara úmida as barras foram cuidadosamente desmoldadas e, em seguida, obtidas as leituras iniciais pelo extensômetro. Após a leitura, os corpos de prova foram colocados na autoclave. A temperatura inicial da autoclave era de 28°C, chegando a 216°C em 75min, sob pressão de 2032,55KPa. As barras foram mantidas na autoclave a 2032,55KPa por 3 horas, depois desse tempo, foram resfriadas de modo que a temperatura e pressão diminuíssem gradativamente, até atingir as condições ambiente para a retirada das barras. Ao retirá-las da autoclave, as barras foram colocadas em um recipiente com água fria, até que, a temperatura atingisse 23°C, e, em seguida, foram obtidas medidas no extensômetro.

3. Resultados e discussão

3.1. Produção da areia normal

O processo de britagem do rejeito provocou a mudança na coloração do mesmo. O reprocessamento pelo britador de mandíbulas seguido de segregação granulométrica tornaram as amostras mais claras resultando, também, em uma considerável formação de finos, como pode ser visto na Figura 1. A alteração da coloração pode estar associada à desagregação de finos presentes na superfície dos rejeitos coletados nas bacias de disposição, e o aumento significativo dos finos com o reprocessamento (trituração) pode estar relacionado com a dureza dos grãos, sugerindo friabilidade destes materiais.

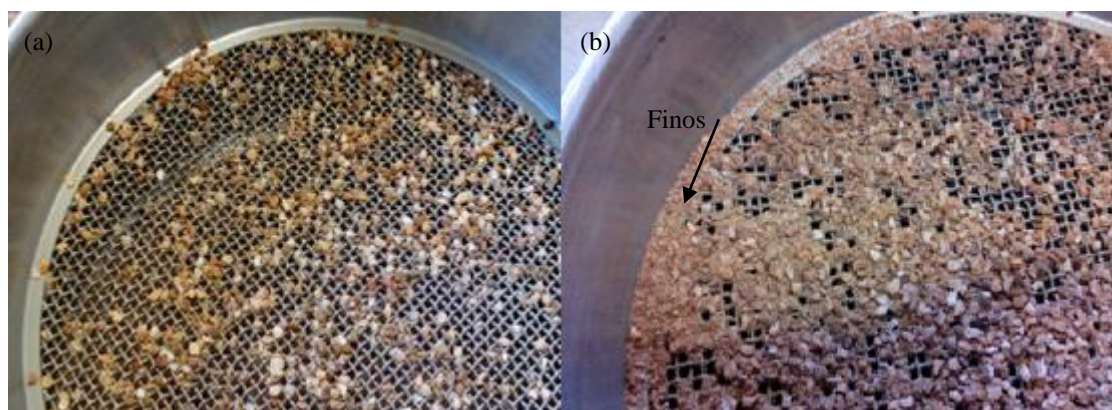


Figura 1: Material retido na peneira n°10: a) Material obtido da 1ª britagem; b) Material obtido das rebritagem

A areia obtida dos processos de britagem e rebitagem do rejeito foi produzida a partir de proporções ideais, de cada uma das faixas citadas na Tabela 1 fornecendo a curva mostrada na Figura 2, para areia normal. Tanto ANR quanto a ANB, possuem a mesma curva granulométrica, pois ambas seguiram as mesmas proporções prescritas na NBR 7214/12. Na Figura 3 podemos observar o formato dos grãos, em ANB mais volumétricos e em ANR mais angulosos.

Tabela 1: Composição granulométrica areia normal

Material retido	Peneira(mm)
5%	2,000
20%	1,400
25%	0,600
25%	0,300
22%	0,150

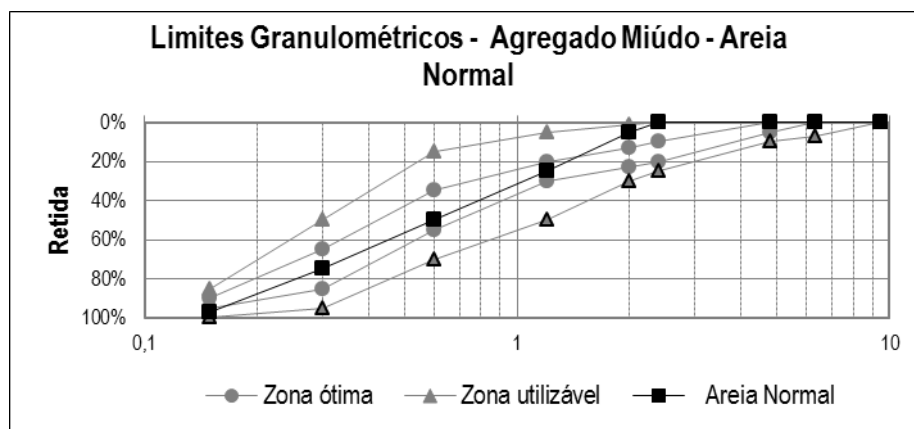


Figura 2: Curva granulométrica



Figura 3: Imagens da ANB e ANR

3.2. Caracterização da areia normal

O processo de obtenção da areia a partir do processamento do rejeito de mineração de silício gerou material com significativa quantidade de finos. A ANR apresentou teor de finos equivalente a 3,51% em massa, enquanto ANB apresentou teor de finos equivalente a 0,07% em massa. Segundo a NBR 7214/12, a areia normal não deve apresentar teor de finos superior a 1,0% em massa. No entanto, para a produção de concreto de cimento

Portland, são admitidos limites que variam de 3% a 5% (NBR 7211/05) para teor de pulverulentos em massa para areias, o que habilita a ANR ao seu uso como agregado miúdo. A areia normal deve apresentar teor de umidade inferior a 0,2%, e ambos os materiais apresentaram resultados para umidade dentro do limite $h^{ANR}=0,14\%$ e $h^{ANB}=0,08\%$. Por meio da análise de comparação colorimétrica, obteve-se resultado qualitativo, ilustrado na Figura 4, que indicam que a presença de matéria orgânica se encontra dentro dos limites normativos para as duas areias. Os resultados obtidos para a massa específica foram para a $M_e^{ANR}=2,58\text{g/cm}^3$ e para $M_e^{ANB}=2,66\text{g/cm}^3$. E para a massa específica aparente obteve-se $M_{ap}^{ANR}=1,47\text{g/cm}^3$ e $M_{ap}^{ANB}=1,50\text{g/cm}^3$.



Figura 4: Determinação do teor de matéria orgânica ANR e ANB

Os resultados obtidos da espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) para a fração retida na peneira 150 μm e fração passante peneira de 150 μm , conforme Figura 5. Indicam que há, na amostra mais fina do material, uma quantidade percentual de Fe, significativamente superior àquelas obtidas para as frações maiores. Esse resultado sugere que o ferro esteja incrustado nos grãos maiores de quartzo, sendo liberado a partir dos repetidos processos de britagem.

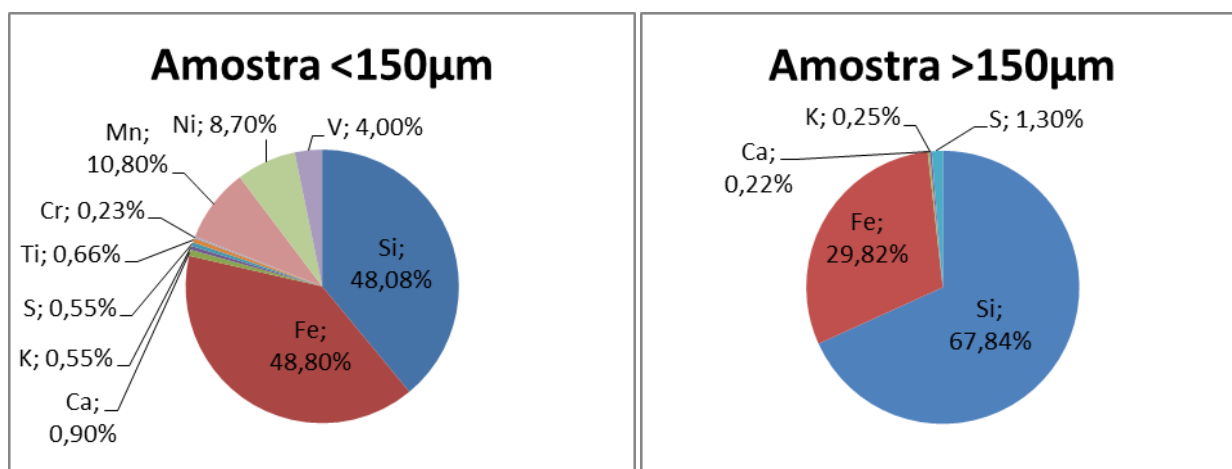


Figura 5: Teor de elementos nas frações <150 μm e >150 μm

Os resultados obtidos do espectro de difração de raios-X, apresentados na Figura 6, ilustram a estrutura mineralógica do rejeito da mineração, com superposição de picos.

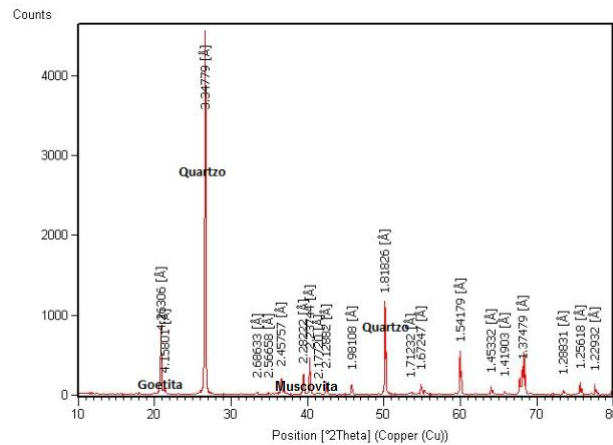


Figura 6: Espectro de DRX

Os minerais identificados são, predominantemente, o quartzo, mas, também, a goetita e a muscovita. A goetita é um mineral composto de óxido de ferro hidratado, com fórmula química $\text{FeO}(\text{OH})$ e a muscovita é um filossilicato mineral de alumínio e potássio, também, conhecido como mica, com a fórmula química $(\text{KF})_2 (\text{Al}_2\text{O}_3)_3 (\text{SiO}_2)_6 (\text{H}_2\text{O})$. A muscovita é um material mais susceptível ao ataque alcalino (MELO, 2012), que pode contribuir com a redução da durabilidade das matrizes de cimento.

A microscopia eletrônica de varredura apresenta aspectos relacionados à morfologia da areia ANR, e, indicou a presença de ferro, devido ao processo de britagem e peneiramento, que fez com que estas partículas ficassem de tamanho bem reduzido. Em função deste processo, as partículas de ferro ficaram aderidas as partículas da areia como podem ser visto, na Figura 7.

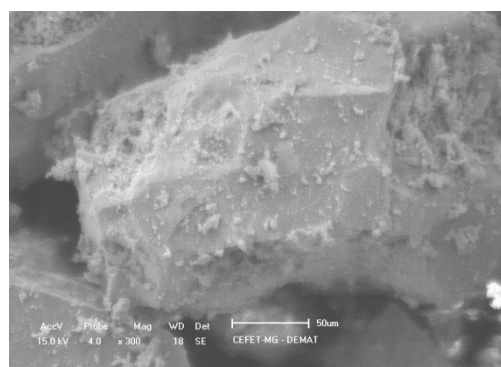


Figura 7: Partículas de areia cobertas de ferro.

A partir das imagens apresentadas nas Figuras 8 e 9 é possível identificar que as partículas da areia produzida a partir dos rejeitos apresentam-se com formato irregular e pontiagudo. Ainda é possível identificar partículas brilhantes de maior tamanho, que sugerem a presença de elementos metálicos (silício metálico ou ferro silício).

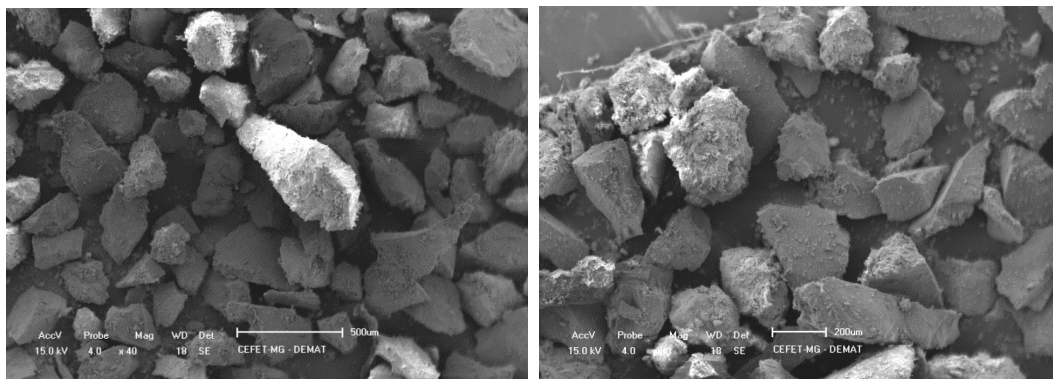


Figura 8: Partículas metálicas

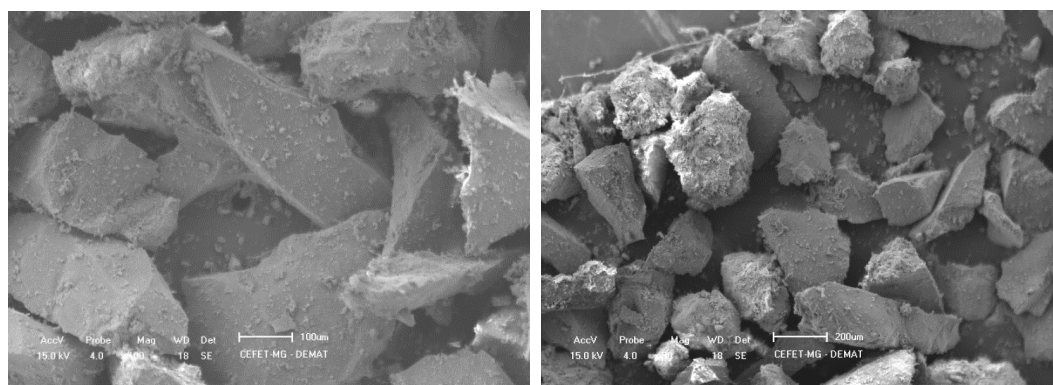


Figura 9: Formato dos grãos

3.3. Produção da argamassa

O índice de consistência foi determinado a partir de três amostras; para cada tipo de areia e mesmos traços. Para as argamassas ANB, obtiveram-se espalhamento médio de 300,4mm; enquanto que para as argamassas ANR o espalhamento médio foi de 235,5mm. Esse resultado revela ser IC, superior para argamassas ANB em 27,5%. A forma dos grãos pode ser considerada como responsável na variação desse parâmetro, dado que os agregados ANR passaram também por processo de lavagem, para a produção destas argamassas.

O teor de ar incorporado apresentou-se superior para a ANR, comparativamente a ANB. O valor médio $T_{ar\ incorporado}^{ANR} = 2,76\%$ e $T_{ar\ incorporado}^{ANB} = 1,05\%$. Como as argamassas foram produzidas da mesma forma, o fator que pode ter interferido relaciona-se ao formato dos grãos da ANR. Na areia produzida com resíduo, os grãos se mostraram mais angulosos, e, conseqüentemente, provocaram na argamassa mais espaços vazios, levando, assim, a diferença de quase 2% no teor de ar incorporado entre ANR e ANB.

Os resultados obtidos para a densidade de massa da argamassa indicam que a argamassa com a areia normal brasileira apresentou valor médio um pouco maior que a argamassa com o rejeito, sendo: $d_{argamassa}^{ANR} = 2,124g/cm^3$ e $d_{argamassa}^{ANB} = 2,211g/cm^3$. De acordo com os limites indicados por ISAIA (2010), as argamassas com densidade de massa entre 1,4 a 2,3 g/cm³ são consideradas normais com aplicações convencionais, o

que qualifica a areia ANR, para a utilização como agregado para argamassas convencionais de densidade normal.

A resistência à compressão obtida, indicada na Figura 10, mostrou que nenhuma das duas areias atingiu o valor de resistência aos 28 dias estipulado pela NBR 5735/91 para o tipo de cimento, que seria de 40 MPa aos 28 dias. Porém aos 3 e 7 dias as amostras ANR e ANB superaram os valores esperado que são 12 e 23MPa respectivamente, logo, o desempenho da ANR pode ser considerado satisfatório quanto a resistência a compressão.

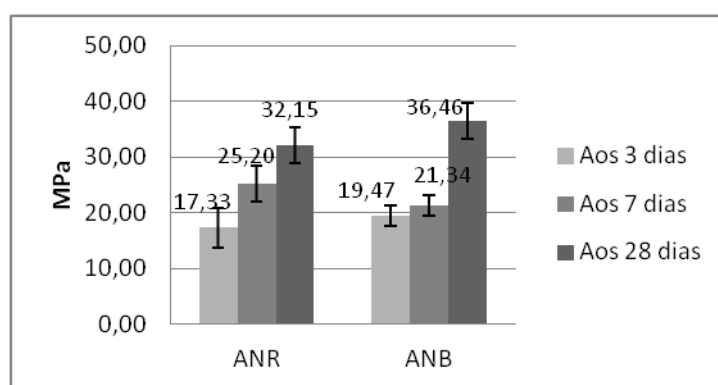


Figura 10: Resistência à compressão

Observa-se que aos 28 dias de cura, a diferença entre as resistências atingidas é de 13% em relação ao valor obtido pela areia normal produzida com resíduos, ou seja, a ANR comporta se de forma semelhante a areia normal brasileira, que é utilizada como material de referência para a verificação da resistência do cimento Portland em laboratório.

Para a resistência à tração na flexão, observa-se não haver variações significativas para o parâmetro relativamente à utilização de agregados ANR ou ANB, como pode ser observado na Figura 11, a seguir.

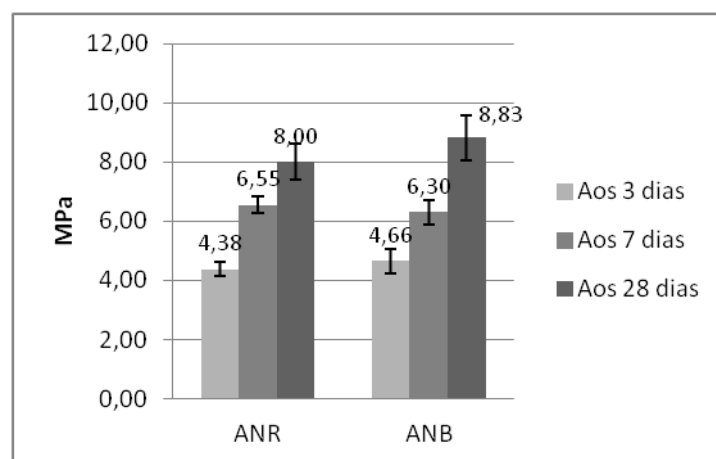


Figura 11: Resistência à tração

3.4. Ensaios de durabilidade

3.4.1. Método acelerado autoclave

Os resultados obtidos para expansão na autoclave, ilustrados na Figura 12, expressaram variações percentuais de comprimento para ANR de 0,56%, 0,66% e 0,81%, respectivamente para os CPs 1, 2 e 3 e para ANB de 0,54%, 0,72% e 0,64% para os CPs 1, 2 e 3 respectivamente. Segundo Carnin et al (2010), o limite máximo de expansibilidade para o cimento é de 0,8%, fato que indica estabilidade dimensional relativa das duas areias $E^{ANR}=0,68\%$ e $E^{ANB}=0,63\%$ dado que ambas estão abaixo do limite máximo indicado.

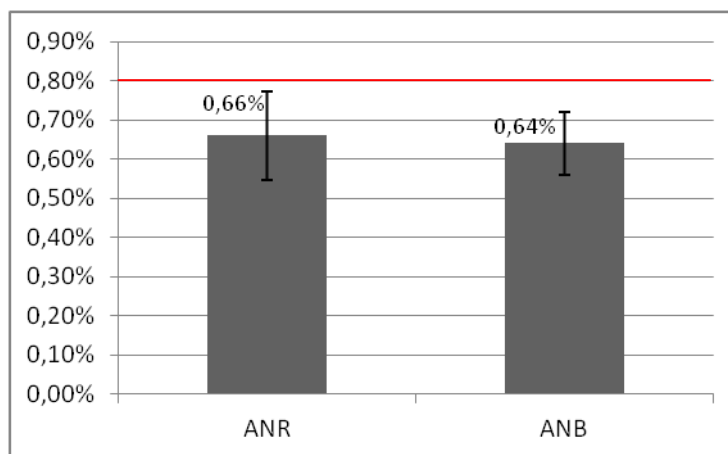


Figura 12: Expansão na autoclave

4. Conclusão

A areia normal produzida com rejeito mostrou-se, em relação a sua caracterização física, muito semelhante a areia normal brasileira, apesar do formato mais anguloso dos grãos, devido o processo de produção da ANR, as diferenças nos resultados estão dentro dos limites estipulados pelas normas. Nos ensaios realizados na argamassa no estado fresco, a forma angulosa dos grãos influenciou no valor obtido de índice de consistência para ANR, de forma que o IC da ANR apresentou-se inferior ao IC da ANB. A areia ANR apresentou, devido ao menor IC, teor de ar incorporado superior ao da ANB e, conseqüentemente, menor densidade de massa. Já no desempenho mecânico, a areia produzida a partir do rejeito obteve comportamento satisfatório, além de muito similar ao da areia normal brasileira, tanto no ensaio de resistência à compressão como no ensaio de resistência à tração na flexão. Quanto à expansão em autoclave, tanto a ANR quanto a ANB obtiveram resultados dentro do limite máximo de expansibilidade para o cimento, indicando estabilidade dimensional em relação à expansibilidade dos grãos. De forma geral, os resultados sugerem a oportunidade de proporcionar ao rejeito da mineração de silício correta destinação, e uma alternativa para o consumo de agregado para o setor da construção civil, de forma, ambientalmente, mais correta. Para estudos futuros, sugere-se verificar a viabilidade econômica da produção e comercialização da areia normal, a partir de rejeito e sua utilização em peças de concreto.



5. Agradecimentos

Fapemig, CNPq, CAPES, Grupo de Pesquisa RECICLOS, Fundação Gorceix, pelo apoio e fomento concedidos; ao PROPEC e a MinaSilício Ltda, pela concessão de matéria prima, logística e financeira.

6. Referências

ALMEIDA, S. L. M; SAMPAIO, J. A; SILVA, V. S. **Serviço de Tratamento Mineral e Usina Piloto - setu produção de areia artificial com base em finos de brita de granito.** Rio de Janeiro, 2005.

AMARAL, C. K. **Microsílica: aplicações no Brasil.** In: REUNIÃO DO IBRACON, 1987, São Paulo, jul. 1987, 35p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-151** – Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement. West Conshohocken- United States.

ARGONZ, R. **Purificação de rejeitos de lascas de quartzo das indústrias de silício.** Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas- Campinas, SP [Sn], 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46.** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49.** Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52.** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211.** Agregados para concreto - Especificação . Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214.** Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13530**-Revestimentos de paredes e tetos- Argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577**- Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2008.

CARNIN, R. L. P; SILVA, C. O; POZZI, R. J; JUNIOR, D. C; FOLGUERAS, M. V; MALKOWSKI, W. **Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado**. Revista PAVIMENTAÇÃO, ano V, Outubro de 2010, p. 65.

IBRAM. **Mineração e Meio Ambiente**. (1987) IBRAM, Belo Horizonte, 59p. Disponível:<http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/disposicao_do_rejeito.pdf> Acessado em 12 de março de 2014.

ISAIA, G. C; IBRACOM. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2ª edição, vol. 2, cap. 26, p. 44, 2010

MELO, L. G. A; THAUMATURGO, C. **FILITO: UM MATERIAL ESTRATÉGICO PARA FABRICAÇÃO DE NOVOS CIMENTOS**. Disponível em <http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_2_tri_2012/RMCT_062_E4B_11.pdf>. Acessado em 16 de maio de 2014.

Penna, P. C. V. **EXPANSÃO DA MINERAÇÃO DE AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO ENDOSSA CRESCIMENTO DA ECONOMIA**. Disponível em <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=124511>. Acessado em 22 de abril de 2014.

SJÖSTRÖM, C. **Service life of the building**. Em: Applications of the performance concept in building. Tel Aviv. CIB. v. 2. **Proceedings**. 1996. p. 6-1;6-11.

VALVERDE, F. M. **AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**- Balanço Mineral Brasileiro, 2001