

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ACIDEZ EM BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO FABRICADOS COM REJEITO DE CARVÃO¹

Cassiano Rossi dos Santos²
Juarez Ramos do Amaral Filho²
Ivo Andre Homrich Schneider³
Rejane Maria Candiota Tubino⁴

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados do estudo do potencial de geração de acidez pelo método de contabilização de ácidos e bases (ABA tradicional) em blocos de concreto para pavimentação confeccionados com rejeito de carvão em substituição ao agregado miúdo convencional (areia), bem como a caracterização do resíduo. Foi avaliado o potencial de geração de acidez do rejeito bruto, do agregado miúdo reciclado de rejeito de carvão (AMR) dos blocos com três diferentes porcentagens de substituição do agregado miúdo natural pelo AMR (0,50% e 100%). O AMR obtido apresenta alto teor de cinzas e baixo teor de enxofre devido ao processo de separação por meios densos que permitiu a separação da pirita. Sua estrutura cristalina possui o quartzo como componente majoritário. Os resultados obtidos com os ensaios estáticos indicam que não será gerada drenagem ácida em nenhum dos blocos produzidos. Em contrapartida, é esperada a geração de drenagem ácida oriunda do rejeito bruto e do AMR se os materiais forem expostos à intempérie.

Palavras-chave: Concreto para pavimentação; Agregado; Drenagem ácida; Rejeito de carvão; Ensaio estático.

ASSESSMENT OF THE ACIDITY GENERATION POTENTIAL OF CONCRETE BLOCKS FOR PAVING PRODUCED WITH COAL WASTE

Abstract

This paper aims to present the results of the potential generation of acidity by the method of accounting for acids and bases (traditional ABA) in concrete paving made with coal waste as a replacement for conventional fine aggregate (sand), as well as waste characterization. It was evaluated the potential to generate acidity of the raw waste, of the recycled fine aggregate from coal waste (RFA) and of blocks produced with three different percentages of replacement of natural fine aggregate by RFA (0,50% and 100%). The RFA has a high content of ashes and low sulfur due to the densimetric process of separation that enables pyrite separation. Its crystal structure presents quartz as the major component. The results of static tests indicate that blocks produced with all percentages of substitution cannot generate acid drainage. On the other hand, is expected to generate acid drainage coming from the raw waste and from RFA if the materials are exposed to weather.

Key words: Paving concrete; Aggregate; Acid drainage; Coal waste; Static tests.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro Ambiental, Aluno Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

³ Engenheiro de Minas, Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

⁴ Engenheira Civil, Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Carvão Mineral e Impactos Ambientais Associados

Atualmente, na região carbonífera de Santa Catarina, aproximadamente 65% do carvão ROM retirado das minas são descartados como rejeitos, formando depósitos. Estes rejeitos, quando nenhum critério de controle é adotado, são responsáveis pela geração de impactos ambientais relevantes em seu entorno.

De acordo com Kontopoulos⁽¹⁾ a geração da drenagem ácida de minas (DAM), ocasionada pela oxidação de sulfetos metálicos presentes na composição do rejeito, é um problema grave pela sua natureza, amplitude e dificuldade de resolução do problema.

Devido às circunstâncias, torna-se indispensável à busca de soluções com o objetivo de reduzir a quantidade de resíduos gerados pelo setor. Para tanto, o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a utilização do material disposto nos módulos de rejeito representa uma ótima opção para redução do passivo ambiental. Ainda, podem agregar valor a um material que até então era considerado sem utilidade.

De acordo com Amaral Filho⁽²⁾, através do beneficiamento gravimétrico dos rejeitos, é possível a obtenção de três frações densimétricas distintas: (a) uma fração mais densa, rica em pirita; (b) uma fração mais leve, com considerável teor de matéria carbonosa; e (c) uma fração de densidade intermediária, com maior teor de matéria mineral inerte. A fração intermediária, utilizada neste trabalho, corresponde a aproximadamente 50% da massa original do módulo de rejeitos, e é formada basicamente por rochas do tipo folhelhos e siltito. O processo de separação gravimétrica da pirita permite que o teor de enxofre, originalmente em um teor de 6% no rejeito bruto, fique no valor de aproximadamente 2% no material com densidade intermediária.

1.2 Utilização de Resíduos da Mineração de Carvão na Construção Civil

O emprego de resíduos pode ser vantajoso do ponto de vista ambiental e econômico. Sua utilização como matéria-prima alternativa contribui para a redução da extração e industrialização de novos recursos. Como consequência, aumenta-se o tempo de vida útil de aterros e se reduz os riscos de disposição inadequada de resíduos. A construção civil, por consumir grandes quantidades de materiais, é vislumbrado como um segmento que tem grande potencial para consumir os resíduos gerados por outros setores.

Em relação ao rejeito de carvão, conforme Canibaño,⁽³⁾ Skarzynska,⁽⁴⁾ Lemeshev et al.⁽⁵⁾ e Haibin e Zhenling,⁽⁶⁾ alternativas de aproveitamento na construção civil podem incluir material para reforços de estruturas terrestres, agregados para concretos, base de pavimentos e matéria-prima para produtos.

O aproveitamento de resíduos na construção civil pode ser conduzido de maneira que sejam aplicados os processos de solidificação e estabilização de resíduos. De acordo com EPA,⁽⁷⁾ a solidificação diz respeito à técnica de encapsulamento de um resíduo em um sólido monolítico de alta integridade estrutural, não envolvendo, necessariamente, interações químicas entre o resíduo dentro do monólito. A estabilização refere-se à técnica que reduz o potencial perigoso de resíduos pela conversão dos contaminantes em uma forma menos tóxica, menos solúvel e menos móvel.

De acordo com Vargas,⁽⁸⁾ a tecnologia de estabilização/solidificação, utilizando cimento, é uma tecnologia atrativa para o tratamento de resíduos perigosos, pois o custo é baixo, em comparação a processos térmicos por exemplo, e de fácil implementação. Em casos onde o emprego do resíduo gera um produto passível de comercialização, os benefícios econômicos tornam-se ainda mais atraentes.

1.3 Considerações Iniciais Sobre o Presente Estudo

Uma das possíveis alternativas para utilização da fração com densidade intermediária dos rejeitos de carvão é na substituição aos agregados usualmente utilizados na fabricação de blocos de concreto para pavimentação. A NBR 9781⁽⁹⁾ fixa as condições exigíveis para a aceitação de peças pré-moldadas de concreto destinadas à pavimentação. Os critérios utilizados para atestar a qualidade dos blocos produzidos são as dimensões da peça (comprimento e largura) e a sua resistência à compressão.

Para o presente estudo, foram produzidos blocos de concreto para pavimentação utilizando a fração com densidade intermediária do rejeito bruto. Os blocos foram produzidos com cinco diferentes porcentagens de substituição (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) do agregado miúdo natural (areia) pelo Agregado Miúdo Reciclado de rejeito de carvão (AMR). Através da aplicação da ferramenta estatística Análise de Variância (Anova) não foi verificada diferença significativa entre os resultados dos ensaios de resistência a compressão entre os blocos produzidos com diferentes teores de AMR. Ou seja, do ponto de vista estatístico e considerando as condições do experimento, o emprego desse material não afeta a resistência à compressão dos blocos produzidos. A Figura 1 apresenta os blocos produzidos.

Entretanto, a presença de enxofre, mesmo em teores reduzidos (2%), pode acarretar a geração de acidez. A geração de acidez pode ser avaliada através da contabilização de materiais que geram acidez e de materiais que fornecem alcalinidade nos blocos, que pode ser realizado pelo método de contabilização de ácidos e bases (ABA) desenvolvido por Sobek et al.⁽¹⁰⁾

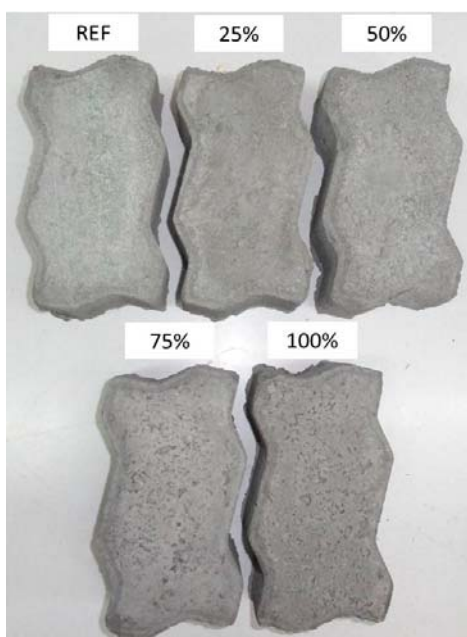


Figura 1. Blocos com 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição do agregado miúdo natural por AMR.

1.4 Previsão da Geração de Acidez Decorrente da Mineração

Conforme EPA,⁽¹¹⁾ a previsão de ocorrência da drenagem ácida de estéreis da mineração de carvão ou materiais diversos tem como objetivos: determinar se certo volume de material gerará ácido; e avaliar as características da drenagem. Os métodos que preveem o potencial de geração ácida são classificados como estáticos ou cinéticos.

Os ensaios estáticos permitem avaliar a possibilidade de geração de DAM. A cinética do processo pode ser avaliada através dos ensaios cinéticos, que simula as reações naturais de oxidação do local de estudo. Os ensaios cinéticos requerem muito tempo para sua realização, enquanto os ensaios estáticos podem ser conduzidos em curto espaço de tempo.

De acordo com EPA,⁽¹¹⁾ os principais métodos estáticos são: (1) método de contabilização de ácidos e bases (*Acid Basic Accounting Method – ABA*); (2) método de contabilização de ácidos e bases modificado (*Modified Acid Basic Accounting Method – ABA Modificado*); (3) teste inicial BC; e (4) potencial de produção alcalina: enxofre e balanço da produção ácida.

O AMR obtido apresenta teor reduzido de enxofre devido ao processo de beneficiamento utilizado para separar a fração de interesse. A avaliação da geração de acidez dos blocos produzidos é importante para avaliar a viabilidade de aplicação dessa tecnologia. O principal objetivo do presente trabalho foi prever a ocorrência da drenagem ácida no AMR obtido e nos blocos produzidos através dos ensaios estáticos pelo método de contabilização de ácidos e bases tradicional (*Acid Basic Accounting Method – ABA*).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Beneficiamento Empregado na Obtenção do Agregado Miúdo Reciclado (AMR)

O rejeito utilizado neste estudo é oriundo do módulo B de rejeitos da Carbonífera Criciúma S/A. O módulo B está inserido na Unidade de Mineração II – Verdinho, Município de Forquilha, SC, onde estão dispostos cerca de 13 milhões de toneladas de rejeitos oriundos das etapas de beneficiamento do carvão mineral. A Figura 2 apresenta um fluxograma da metodologia experimental.

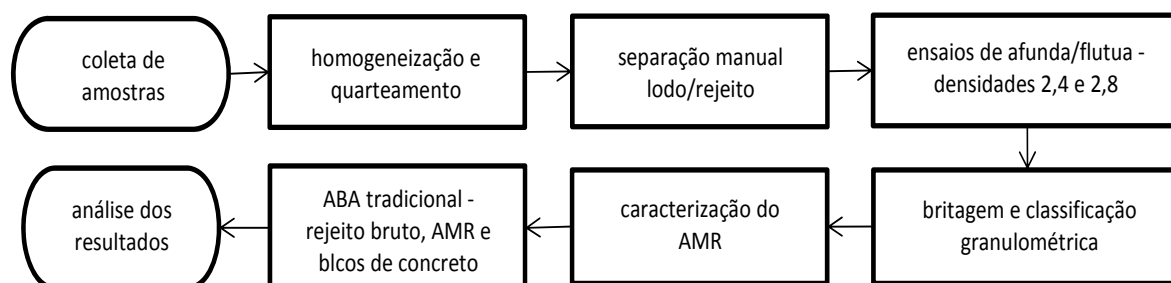


Figura 2. Metodologia experimental.

A amostragem foi realizada por meio de sondagem rotativa que atingiu até a base do aterro. As amostras foram misturadas e quarteadas de acordo com a NBR 10007.⁽¹²⁾ Após recebimento da amostra de rejeito bruto, realizou-se a separação e o descarte da fração mais fina (abaixo de 0,5 mm), material predominantemente originário das

bacias de sedimentação que também são levados ao módulo de rejeitos (lodo). No restante dos rejeitos, realizaram-se os ensaios de afunda-flutua, britagem e peneiramento para ajuste da granulometria dos rejeitos conforme NBR 7211,⁽¹³⁾ com o objetivo de produção do agregado miúdo reciclado.

Os ensaios de separação por meios densos (afunda-flutua) foram conduzidos em conformidade com a NBR 8738.⁽¹⁴⁾ As densidades de corte utilizadas foram 2,4 e 2,8, de forma a concentrar a matéria mineral inerte e minimizar a quantidade de matéria carbonosa e pirita (Amaral Filho, 2009).

O ajuste granulométrico foi feito através de um britador de mandíbulas da marca Plangg, modelo J58 e de um britador de rolos da marca Maqbrit. O material foi britado até se enquadrar dentro dos limites estipulados na NBR 7211.⁽¹³⁾ O ajuste granulométrico foi feito utilizando-se peneiras com as seguintes aberturas: 6,30 mm; 4,75 mm; 2,38 mm; 1,18 mm; 0,60 mm; 0,30 mm e 0,15 mm.

2.2 Caracterização do Agregado Miúdo Reciclado (AMR)

A caracterização do AMR contemplou as seguintes análises: massa específica, distribuição granulométrica, elemental (C, H, N, S), imediata (cinzas, umidade, matéria volátil e formas de enxofre) e difração de raios X (DRX).

As metodologias de análise empregadas foram: massa específica – NBR NM 52,⁽¹⁵⁾ distribuição granulométrica - NBR 7211,⁽¹³⁾ teor de cinzas - NBR 8289,⁽¹⁶⁾ teor umidade – NBR 8293,⁽¹⁷⁾ matéria volátil – NBR 8290,⁽¹⁸⁾ e formas de enxofre – ISO 157.⁽¹⁹⁾

A análise elemental foi realizada via instrumental em um equipamento marca Elemental modelo Vario Macro. As análises mineralógicas qualitativas e semi-quantitativas foram realizadas em um difratômetro de raios X marca Siemens, modelo D5000.

O agregado miúdo para construção civil é definido na NBR 7211⁽¹³⁾ como o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,15 mm. A norma define também os limites de porcentagem de material retido para cada abertura de peneira.

2.3 Ensaios Estáticos de Contabilização de Ácidos e Bases

De acordo com Sobek⁽¹⁰⁾ e EPA,⁽¹¹⁾ os ensaios estáticos foram realizados pelo método tradicional de contabilização de ácidos e bases (ABA). O objetivo foi determinar o balanço entre a produção de acidez (AP) e consumo de acidez – neutralização (NP), pelos componentes minerais da amostra.

Os ensaios estáticos foram conduzidos para as amostras dos blocos produzidos com duas porcentagens diferentes de substituição da areia pelo AMR (50% e 100% de substituição) e para o AMR isoladamente. Ainda, para fins comparativos, realizaram-se os ensaios estáticos para o rejeito bruto e para o bloco referência (0% de substituição). O método utilizado foi o ABA tradicional e as análises foram realizadas em duplicata.

Pelo método ABA tradicional, a determinação do potencial de acidez (AP) foi realizada a partir da análise de enxofre total. O cálculo foi realizado pela Equação 1:

$$AP = \left(\frac{1000}{32} \right) \times \% S_{total} \quad (1)$$

Para a determinação do potencial de neutralização (NP), inicialmente procedeu-se um teste *fizz*, que teve por finalidade definir o volume e a concentração (normalidade) de ácido clorídrico empregado na análise. O desenvolvimento deste teste é o seguinte: duas gotas de HCl 25% é adicionado são adicionadas em 0,5 g de amostra. O objetivo da adição do ácido é verificar a presença de carbonatos na amostra, o qual pode ser reconhecido pelo borbulhamento ou pelo som efervescente. Dependendo da intensidade do som, as amostras foram padronizadas segundo a Tabela 1.

Tabela 1. Volume e normalidade de HCl a ser adicionado na determinação do NP⁽¹¹⁾

Teste <i>fizz</i>	HCl (mL)	HCl (N)
Nenhum	20	0,1
Fraco	40	0,1
Moderado	40	0,5
Forte	80	0,5

Conhecido o volume e a normalidade do HCl, mediu-se o potencial de neutralização. O procedimento consistiu em submeter 2 g de amostra a uma solução ácida (com o volume e normalidade (N) determinados pelo teste *fizz*) e aquecer a 90°C para consumir os minerais neutralizantes. Após, titulou-se a solução ácida com NaOH (com a mesma normalidade do ácido) até pH 7. O potencial de neutralização, em kg CaCO₃/t de amostra, foi calculado com as Equações 2 a 4:

$$C = \frac{mLHCl(PB)}{mLNaOH(PB)} \quad (2)$$

$$Eq. \acute{a}c. \text{ consumido} = (mL \acute{a}c. \text{ ad.}) - (mL \text{ base ad.}) \times C \quad (3)$$

$$NP = (Eq. \acute{a}c. \text{ consumido}) \times 25,0 \times (N \acute{a}cido) \quad (4)$$

Onde:

- C = constante;
- PB = prova em branco;
- N = normalidade; e
- ad.= adicionado.

Os dados obtidos permitiram também calcular os seguintes índices:

$$\text{Potencial de Neutralização Líquido (NNP)} = NP - AP \quad (5)$$

$$\text{Razão do Potencial de Neutralização (NPR)} = NP/AP \quad (6)$$

Os critérios ABA para identificação do potencial de geração de acidez dos materiais são (NNP e NPR):

- valores de NNP menores que -20 indicam que haverá a formação de ácido;
- valores de NNP maiores que +20 indicam que não haverá a formação de ácido;
- valores de NNP entre -20 e +20 indicam que é difícil prever a formação ou não de ácido.
- valores do NPR menores 1:1 indicam a provável geração de DAM;
- valores de NPR entre 1:1 e 2:1 indicam a possível geração de DAM;
- valores de NPR entre 2:1 e 4:1 indicam que a DAM não é esperada; e
- valores de NPR maiores que 4:1 indicam que não será gerada a DAM.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O AMR apresentou massa específica de 2,24 g/cm³. A Figura 3 apresenta a curva granulométrica do rejeito britado em comparação aos limites estabelecidos na NBR 7211.⁽¹³⁾ O gráfico evidencia que o agregado obtido encontra-se dentro da faixa utilizável determinada pela NBR 7211.⁽¹³⁾

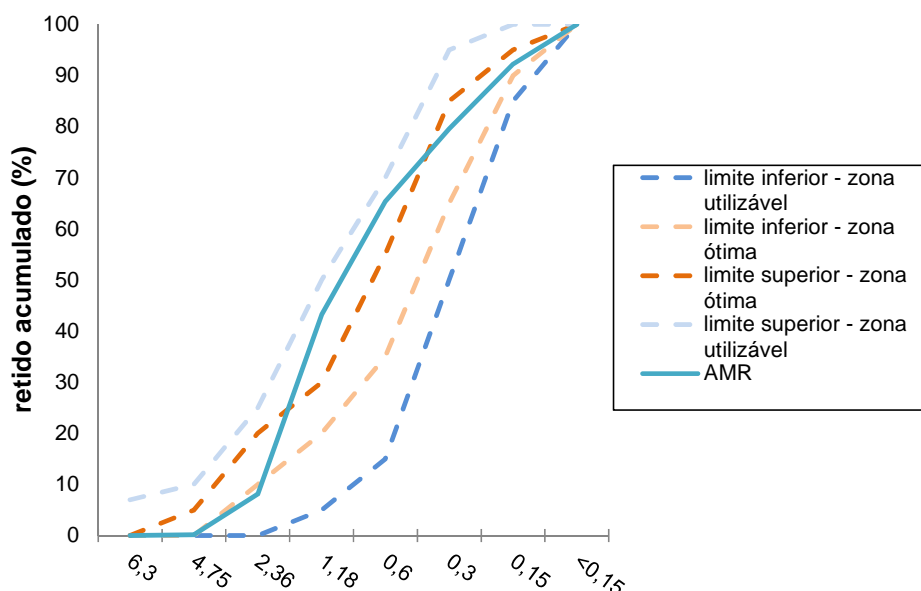


Figura 3. Curva granulométrica do AMR obtido e os limites estabelecidos na NBR 7211.⁽¹³⁾

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises elementar e imediata do AMR. A análise elementar demonstra que o material possui uma quantidade reduzida de enxofre total (1,95%). A predominância do enxofre pirítico ocorre devido à presença da pirita não removida no processo de beneficiamento do rejeito via meio denso. O teor de cinzas no AMR é de 90%, o que demonstra a predominância de compostos termicamente estáveis no material.

Tabela 2. Resultados das análises elementar e imediata do AMR

Propriedade	AMR
Matéria Volátil (%)	9,6
Cinzas (%)	90,0
Umidade (%)	0,6
C (%)	2,55
H (%)	0,79
N (%)	0,13
S total (%)	1,95
S pirítico (%)	1,10
S sulfático (%)	0,54
S orgânico (%)	0,30

O difratograma de raios X do AMR é apresentado na Figura 4. Pode-se observar que o componente cristalino majoritário é o quartzo. Os demais constituintes cristalinos (ilita, gesso e caulinita) se apresentam em quantidades menores.

AMR

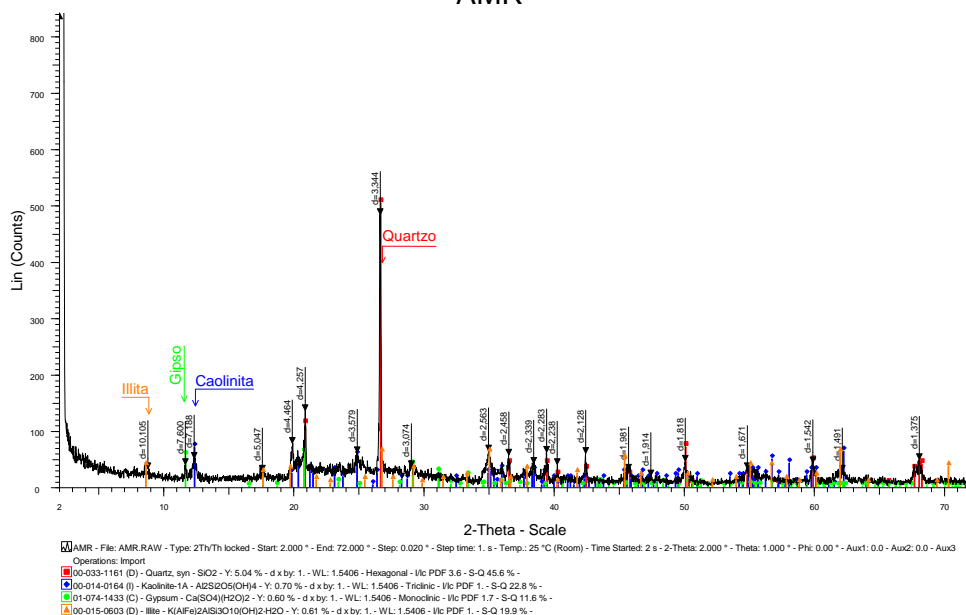


Figura 4. Difratograma de raios X do AMR.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios estáticos do rejeito bruto, do AMR e dos blocos 0% (referência), 50% e 100% de substituição do agregado miúdo natural pelo AMR. Pode-se observar a redução do teor de enxofre total no AMR obtido através do beneficiamento do rejeito bruto de 7% para 1,9% no AMR. O resultado da análise de enxofre total no rejeito bruto está em conformidade com os resultados obtidos por Amaral Filho⁽²⁾, onde o teor de enxofre total encontrado foi de 5,7%. Com relação aos resultados obtidos nos blocos de concreto com 50% e 100% de substituição, o baixo AP e alto NP ocorreram devido à alta alcalinidade do cimento, sendo assim caracterizado como um processo de solidificação/estabilização do AMR.

Tabela 3. Resultados dos ensaios estáticos

Propriedade	Rejeito Bruto	AMR	Bloco Referência	Bloco 50%	Bloco 100%
S total (%)	7,0	1,9	0,5	0,9	0,8
AP (kg CaCO ₃ /t)	218,84	60,81	15,73	27,55	23,69
NP (kg CaCO ₃ /t)	0,00	0,00	241,00	488,25	504,23
NNP	-218,84	-60,81	225,27	460,70	480,54
NPR	0,00	0,00	15,32	17,72	21,28

O que chama atenção é o fato do NP do bloco com 100% de AMR ser o maior, enquanto que o NP do bloco referência é o menor. Já os valores de AP nos blocos que possuem o AMR em sua composição estão coerentes quando comparados ao AP do bloco referência. Foi observado maior AP nesses blocos do que no bloco produzido sem o AMR. Isso pode ter ocorrido devido à diferença da relação água/cimento utilizada para cada porcentagem de substituição. Não foi possível manter a mesma relação água/cimento, já que o AMR apresentou maior absorção de água do que o agregado miúdo natural. Assim, quanto maior a porcentagem de substituição, maior a quantidade de água. A quantidade de água na mistura interfere na hidratação do cimento, que por sua vez pode ter influenciado os resultados do NP.

O rejeito bruto apresentou NNP e NPR inferiores às demais amostras devido ao maior teor de pirita presente, indicando a geração de drenagem ácida. O AMR, obtido através do beneficiamento do rejeito bruto via meio denso, possui teor reduzido de pirita, e conseqüentemente, seu NNP e NPR são consideravelmente menores que do rejeito bruto, porém também há indicação de geração de drenagem ácida proveniente desse material. O NNP dos blocos indica que não haverá a formação de ácido enquanto o NPR indica que não será gerada a drenagem ácida.

4 CONCLUSÃO

Através do beneficiamento do rejeito bruto utilizando meios densos nas densidades de corte utilizadas (2,4 e 2,8) foi possível obter um AMR com teores reduzidos de enxofre e de matéria carbonosa.

O potencial de neutralização líquido (NNP) e razão do potencial de neutralização (NPR) indicam que haverá a formação de ácido para as amostras de rejeito bruto e de AMR, enquanto que para as amostras dos blocos, não haverá a formação de ácido.

Sendo assim, quanto à geração acidez nas condições estudadas, é atestada a viabilidade ambiental de utilização na pavimentação dos blocos de concreto fabricados com o AMR obtido. Os mesmos, em qualquer uma das porcentagens de substituição do agregado miúdo natural por AMR, não são passíveis de geração de impactos ambientais decorrentes da geração de drenagem ácida.

A aplicação desta tecnologia pode trazer benefícios ambientais tanto para as empresas produtoras de carvão mineral, contribuindo com a difícil tarefa de dar fim ao passivo ambiental gerado por esse setor, quanto para a conservação das jazidas de extração de agregados naturais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Estudos Ambientais para Metalurgia (Leamet), ao Laboratório de Processamento Mineral (Iaprom), ao Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM), ao Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (Norie), à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao CNPQ e à Carbonífera Criciúma S.A.

REFERÊNCIAS

- 1 KONTOPOULOS, A. Acid Mine Drainage Control. In: Effluent Treatment in the Mining Industry. Castro, S. H., Vergara, F.; Sánchez, M.A.; (Eds). University of Concepción, 1998.
- 2 AMARAL FILHO, J.R. Avaliação ambiental e do potencial de aproveitamento de um módulo de rejeitos de carvão na região carbonífera de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 90 p., 2009.
- 3 CANIBAÑO, J.G. Latest Developments in the Utilization of Coal Mining Wastes. In: Coal Science. Pajares, J.A.; Tascón, J.M.D. (editors). P. 1629-1632. 1995.
- 4 SKARZYNSKA, K.M. Reuse of Coal Mining Wastes in Civil Engineering – Part 2: Utilization of Minestone. Waste Management, vol. 15, No.2, p.83-126. 1995.

- 5 LEMESHEV, V.G.; GUBIN, I.K.; SAVE'EV, YU.A.; TUMANOV, D.V.; LEMESHEV, D.O. Utilization of Coal-Mining Waste in the Production of Building Ceramic Materials. *Glass and Ceramics*, vol.61, Nos. 9-10. p.308-311. 2004.
- 6 HAIBIN, L; ZHENLING, L. Recycling Utilization Patterns of Coal Mining Waste in China. *Resources, Conservation and Recycling*, No. 54, p.1331-1340. 2010.
- 7 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. RCRA Orientation Manual, 1990. Disponível em 02/2012: <http://www.epa.gov/wastes/inforesources/pubs/orientat/>
- 8 VARGAS, A.S. Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica a arco na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 148 p., 2002.
- 9 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781. Peças de concreto para pavimentação - Especificação, Rio de Janeiro. 1987.
- 10 SOBEK, a. a., ET AL. Field and laboratory methods applicable to overburden and minesoils, EPA 600/2-78-054, 1978.
- 11 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA 530-R-94-036: Acid Mine Drainage Prediction., 1994. Technical document.
- 12 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10007. Amostragem de Resíduos, Rio de Janeiro. 2004.
- 13 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211. Agregados para Concreto, Rio de Janeiro. 1983.
- 14 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8738. Carvão Mineral – Ensaio Densimétricos, Rio de Janeiro. 1985.
- 15 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 52:2009. Determinação da massa específica e massa específica aparente, Rio de Janeiro. 2009.
- 16 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8289. Carvão mineral - Determinação do teor de cinzas - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1983.
- 17 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8293. Carvão mineral - Determinação de umidade - Método de ensaio. 1983.
- 18 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8290. Carvão mineral - Determinação do teor de materiais voláteis - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1983.
- 19 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Coal determination of forms of sulfur, ISO 157:1996, 15p.