

TENOLOGIA DE MATERIAIS: DESENVOLVIMENTO DE AGREGADOS ARTIFICIAIS A PARTIR DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE SIDERURGIA¹

Renata de Oliveira Gama²
Thiago Iwanaga Souza³

Resumo

Esta pesquisa apresenta o estudo da viabilidade técnica-econômica da utilização da escória de aciaria na construção civil na fabricação de concretos. Foram realizados estudos comparativos com concretos convencionais, pesquisas e ensaios laboratoriais de acordo com as normalizações técnicas vigentes, ABNT, para a determinação das características físicas e mecânicas dos concretos determinando assim seu desempenho mecânico-estrutural. Através desse, foi possível desenvolver um produto de base tecnológica aplicado na indústria da construção civil. Os resultados obtidos dos testes realizados mostraram a viabilidade técnica-econômica da aplicação de escória de aciaria em concretos, pois demonstraram melhor desempenho mecânico-estrutural quando aplicados na construção civil. Os novos materiais produzidos a partir da reciclagem dos resíduos sólidos de siderurgia apresentaram boas interações ambientais. Sendo assim foi possível a obtenção de um produto ambientalmente correto, aplicando o processo de reciclagem e o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Reciclagem; Resíduo sólido; Desenvolvimento sustentável.

TENOLOGIA OF MATERIALS: ARTIFICIAL AGGREGATE DEVELOPMENT FROM THE RECYCLING OF RESIDUOS OF SIDERURGY

Abstract

International researches revealed to be, the environmental subject, one of the largest concerns of the building site and heavy construction leaders. In Brazil the consumption of natural aggregates only in the concrete and mortars production it is of 220 million ton/year. Around of the cities, natural aggregates become scarce, due to the crescent environmental controls of the its extraction, what elevates the cost of the natural resources and burdens the engineering process, the building site consumes about 2/3 of the extracted natural wood. Besides all the arguments above related, recycling activity can reduce the pollution in a general way, in the great consuming centers of natural resources for building site, the volume of embankments wastes, present significant economical advantages and provide the production of new materials of technological base, implicating in reduction of the cost of houses, infrastructure buildings, highways, barrages, among others. Through of the determination of the physical, chemical and mechanical characteristics of the solid waste, besides of its structural performance when recycled, it was possible to analyze a better acting of the material when applied as additive in others mortars.

Key words: Recycling; Solid waste; Building site.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Estudante de Engenharia de Materiais, renataolgama@yahoo.com.br*

³ *Estudante de Engenharia de Materiais, thiago_iwanaga@yahoo.com.br*

INTRODUÇÃO

A questão ambiental vem sendo amplamente discutida nos foros nacionais e internacionais, nos últimos anos, tendo mobilizado a opinião pública e assumindo um papel preponderante nas comunidades.

O conceito de sustentabilidade como sendo o melhor aproveitamento das matérias-primas, o reaproveitamento de resíduos e a disposição adequada dos resíduos impróprios para o uso, passou a ser entendido como uma alternativa plausível à degradação ambiental. A proteção do solo e água, a limitação de geração de resíduos e a sua reutilização são os itens chave no conceito do chamado "Desenvolvimento Sustentável". Este conceito foi criado, em março de 1991, pela European Commission Directive 91/156/EEC.^[1]

Muitas empresas vêm investindo cada vez mais em equipamentos e formação de quadros técnicos para eliminar a cultura do desperdício e consolidar a cultura da redução de perdas, reciclagem e reutilização dos resíduos. Não só porque resíduos provocam impactos ambientais negativos, como também a sua redução e aproveitamento podem minimizar o consumo de recursos naturais e energéticos, o que implica, muitas vezes, num menor dispêndio econômico.

A construção civil é um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matéria-prima. De acordo com Sjostrom,^[2] a construção civil consome entre 14% a 50% dos recursos naturais que são extraídos na terra.

Segundo estimativa feita por John,^[3] o consumo de agregado para concreto e argamassa, no Brasil, é em torno de 210 milhões de toneladas por ano.

Por outro lado, as atividades relacionadas à construção civil são grandes geradoras de poluição ambiental. Na produção de 1 tonelada cimento Portland, por exemplo, é lançada 1 tonelada de CO₂ na atmosfera, sendo este gás um dos maiores responsáveis pelo efeito estufa. Outro aspecto importante dentro do contexto ambiental é a legislação, que estabelece critérios para que a produção não venha provocar danos significativos ao meio ambiente. Muitos países têm, cada vez mais, exigido das indústrias, de um modo geral, uma adequação dos processos produtivos às diretrizes básicas do controle ambiental.^[4]

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, sobretudo na área de construção civil, que como já foi dito é o setor que mais consome recursos naturais. A substituição de parte do clínquer por cinzas volantes e escórias possibilitou uma redução de 28% no consumo de combustível na indústria cimenteira.^[3]

Tendo em vista o panorama nacional e mundial que se apresenta, é que se propõe essa proposta de pesquisa, a fim de contribuir, de maneira significativa ao desenvolvimento de novas possibilidades e apoiadas em critérios técnicos e econômicos.

OBJETIVOS

- Aplicar processo de reciclagem a resíduos sólidos provenientes de atividade de siderurgia;
- Analisar propriedades mecânicas dos concretos produzidos a partir do resíduo e siderurgia relativamente aqueles fabricadas convencionalmente;
- Proposição de dosagens para misturas produzidas a partir da reciclagem do resíduo sólido de siderurgia;
- Analisar viabilidade técnica e econômica da substituição das matérias primas pelos resíduos reciclados da atividade siderúrgica em relação à sua aplicação, em função da reciclagem.

REVISÃO DE LITERATURA

Vantagens da Reciclagem

Nem todas as atividades de reciclagem apresentam um balanço ambiental satisfatório, e isso não pode ser relevado em detrimento da atividade de engenharia. Este balanço é função de fatores relacionados às especificidades tecnológicas, distâncias médias de transporte, dentre outras, no entanto, para a maioria dos casos, a reciclagem consiste uma possibilidade viável. A utilização de resíduos como matéria prima reduz a quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente. O resíduo industrial devidamente preparado e curado pode substituir em grande parte os agregados naturais empregados na produção de concreto, blocos e base de pavimentação, segundo resultados preliminares obtidos com trabalhos de pesquisa desenvolvidos até esta etapa.

A Construção Civil e o Desenvolvimento Sustentável

Do exposto, podemos afirmar que a cadeia produtiva da construção civil promove importantes impactos ambientais, sendo necessárias ações imediatas e emergentes de aperfeiçoamento para o processo como um todo.

Em primeiro lugar, o enorme peso do macro-complexo da construção civil na economia, onde é responsável por 40 % formação bruta de capital e enorme massa de emprego fazem com que qualquer política abrangente deva necessariamente abranger o setor.

Em segundo lugar, o macro-complexo da construção civil é um dos maiores consumidores de matérias primas naturais.

Em terceiro lugar, a construção civil é potencialmente uma grande consumidora de resíduos provenientes de outras indústrias. O setor apresenta potencial para se tornar essencial reciclador de resíduos de outras indústrias.

A durabilidade deixa de ser aspecto importante apenas do ponto de vista econômico e passa a ter significado relacionado ao cumprimento da função social para o agente degradador minimizando o consumo de recursos e modificando todo o paradigma de desenvolvimento e avaliação de projetos.^[2]

A empresa que investe em pesquisas que trabalham as etapas e processos de geração e reciclagem de seus resíduos, elimina despesas com gerenciamento, cria novas oportunidades de negócios, proporciona indireta ou diretamente a redução da extração de matéria prima preservando assim os recursos naturais limitados.

A incorporação de resíduos no desenvolvimento de novos materiais e produtos de base tecnológica pode reduzir o consumo energia, como é o caso da adição de escória de alto forno à produção de cimento, permitindo uma redução consumo energético de até 80%, além dos benefícios ambientais relativos a redução da emissão de poluentes atmosféricos de grande potencial contaminante.^[6]

Finalmente a incorporação de resíduos pode ocasionar, algumas vezes, a produção de materiais com melhores características técnicas. Este é o caso da adição de microssílica, que viabiliza concretos de alta resistência mecânica e da escória de alto forno, que melhora o desempenho do concreto frente a corrosão por cloretos.^[7,8]

John^[9] apresenta esboço de metodologia para pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos com materiais de construção civil.

Utilização de Escória como Agregado

A escória de aciaria na forma líquida é lançada numa baía para resfriamento. Assim ela se resfria lentamente, solidificando-se de forma cristalina. Em seguida, geralmente, ela é britada para retirada da fração metálica, através de eletro-ímã.

Após este processo ela é empilhada para ser usada como agregado graúdo. Devido às suas características mecânicas, as escórias de aciaria vêm sendo empregadas como agregado graúdo para concreto asfáltico, base e sub-base de rodovias, lastro de ferrovias e estabilização de solos. Estas aplicações já são consagradas em vários países.

De acordo com publicação do Ministério dos Transportes,^[11] em alguns países, a exemplo dos Estados Unidos, Polônia, Inglaterra, França e Rússia, já existem normas sobre o uso de escórias de aciaria.

Dentre as vantagens que as escórias de aciaria apresentam com relação aos agregados convencionais, Gumieri^[12] destaca menor custo, maior resistência ao desgaste, maior peso próprio, forma dos grãos, conferindo melhor consistência e adesividade às misturas asfálticas, por exemplo. Há que se considerar, na utilização da escória de aciaria, o fenômeno da expansão que a mesma apresenta, devido ao teor de óxidos de cálcio e magnésio livres. Estes óxidos, ao hidratarem, formam compostos expansivos.

De acordo com Gumieri,^[12] a principal causa do aumento de volume verificado na escória de aciaria é o excesso de CaO livre, principalmente na presença de solução sólida contendo pequenas quantidades de FeO (wustita).

Louzada^[10] estudou a utilização de escória de aciaria como agregado na produção de blocos de concreto para alvenaria de vedação. Foram estudadas várias misturas, com diferentes proporções de escória de aciaria e escória de alto forno. Os melhores resultados foram alcançados para mistura de 62% de escória de aciaria e 32% de escória de alto-forno. Os resultados obtidos foram compatíveis com as especificações das normas brasileiras.

Utilização de Escória como Adição ao Concreto

Gumeiri^[12] cita que apesar de algumas escórias de aciaria possuírem os mesmos elementos do cimento Portland, a variabilidade na sua composição química dificulta o seu uso como adição ao cimento. Segundo estes autores, as escórias vítreas, obtidas através do resfriamento brusco, possuem boas propriedades cimentícias quando hidratadas.

No Brasil, Masuero^[13] vem estudando a escória de aciaria de forno elétrico como adição ao concreto. Os resultados preliminares mostram um bom desempenho dos concretos com adição, quanto às propriedades mecânicas.

Geyer et al.^[14] estudaram a influência nas propriedades do concreto da substituição de 5% de cimento por escória de aciaria de forno elétrico. Foi verificado um bom desempenho quanto à resistência à compressão. Aos 28 dias, a resistência do concreto com adição de escória chegou a ser 24% superior à do concreto sem adição.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente proposta de trabalho caracteriza-se *pesquisa experimental* em engenharia.

O material foi coletado de forma representativa para as análises, originado a partir de fonte única, mesmo processo de formação, disposição e manejo, segundo NBR10007/04.^[15]

Foram aplicados testes qualitativos e quantitativos específicos ao delineamento estatístico dos modelos adotados. Todo o material utilizado para análise das amostras coletadas, confecção de corpos de prova, análise de propriedades mecânicas, dentre outras necessidades da pesquisa, foram fornecidos pelo Laboratório de Controle e Tecnologia de Materiais (LCTmat) do curso de Engenharia de Materiais (CET), financiados pelo convênio Cet-Reciclos.

Descrição dos Procedimentos Experimentais

1ª Etapa: Análise química e sanidade do resíduo

Aplicação de testes de caracterização dos rejeitos lixiviação e solubilização segundo NBR 10004,^[16] NBR10005/04^[17] e NBR 10006/04.^[18]

Aplicação de testes qualitativos de estabilidade do rejeito na presença de água, cimento portland e aditivos químicos plastificantes.

Análise Física do resíduo

O resíduo ou subproduto foi submetido a uma série de ensaios, Bauer^[19]

- Granulometria, NBR 7217/87;^[20]
- Massa específica, NBR 9776/87;^[21]
- Massa unitária, NBR 7251/83;^[22]
- Teor de umidade, DNER-ME 213/94;^[23]

O resíduo foi submetido a análises específicas, a fim de promover uma caracterização completa de sua constituição mineralógica.

2ª Etapa: Enquadramento segundo normalização ABNT

Os materiais analisados foram então submetidos à análise de conformidade comparativamente às matérias primas naturais convencionalmente utilizadas nos processos industriais de construção civil.

3ª Etapa: Produção de um concreto para aplicação na Construção Civil

Realizadas as análises físicas e químicas, foram estudados cinco traços experimentais (A, B, C, D e E).

Os traços A e B são os traços comparativos e possuem a mesma dosagem, porém o traço A utilizou-se escória granulada na forma de areia e brita artificial, e o traço B é o convencional utilizando areia e brita natural.

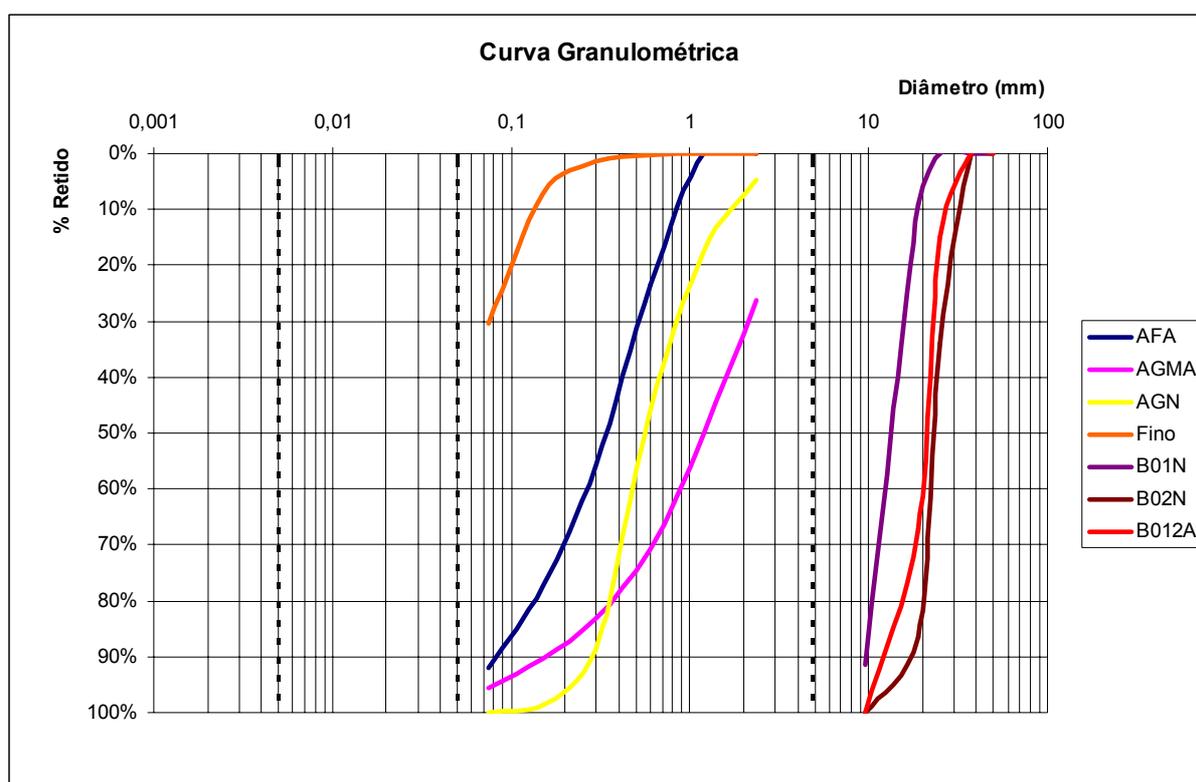
Os traços C, D e E utilizou-se também escória granulada na forma de areia e brita artificial. Possuem a mesma dosagem de areia e brita artificial variando apenas na proporção de cimento, ou seja, nesses traços parte do cimento foi substituído por escória granulada, passante na peneira 200 (>0,075mm) da série ABNT, nas proporções 10%, 30% e 50% respectivamente.

Foram moldados corpos de prova conforme NBR 5738/94,^[24] os quais foram rompidos segundo NBR 5739/94,^[25] após 24 e 72h de cura em uma câmara úmida com umidade relativa do ar de 95%.

Com o intuito de avaliar a consistência do concreto foi realizado o ensaio de *Slump test*, (abatimento por tronco de cone) de acordo com a NBR 7223/92^[26] para cada dosagem. Para a determinação da absorção em água e massa específica, o ensaio foi procedido conforme a NBR 9778/90.^[27]

RESULTADOS

Resultados da Caracterização do Resíduo



AFA – Areia Fina Artificial; AGMA – Areia Grossa Média Artificial; AGN – Areia Grossa Natural; Fino – Escória granulada passante na peneira 200 da série ABNT; B01N – Brita 01 Natural; B02N – Brita 02 Natural; B012A – Brita 012 Artificial

Figura 1 – Análise da Composição Granulométrica

Tabela 1 – Determinação da Massa Específica do Resíduo

 CENTRO UNIVERSITÁRIO DO LESTE DE MINAS GERAIS CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS Reciclagem, Resíduos e Materiais Cerâmicos			
MASSA ESPECÍFICA – FRASCO DE CHAPMAN			
Nomenclatura	Classificação	Leitura (ml)	γ (g/cm ³)
Fino Artificial	F _A	367	2,994
Areia Grossa Natural	AG _N	391	2,6178
Areia Fina Artificial	AF _A	397	2,54

Tabela 2 – Determinação do Teor de Umidade

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO LESTE DE MINAS GERAIS					
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS					
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS					
Reciclagem, Resíduos e Materiais Cerâmicos					
CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS					
Bandeja	Nomenclatura			Classificação	
02	Areia Fina Artificial			AF _A	
03	Fino Artificial			F _A	
04	Areia Grossa / Média Artificial			AGM _A	
21	Areia Grossa Natural			AG _N	
DETERMINAÇÃO TEOR DE UMIDADE					
Cadinho	Classificação	P _u (g)	P _s (g)	h%	\bar{h} %
08	F _A	25	24,35	2,6	2,51
03	F _A	25	24,40	2,44	
01	F _A	25,27	24,64	2,5	
05	AF _A	27,59	25,43	7,83	7,92
04	AF _A	25	22,99	8,04	
02	AF _A	25	23,03	7,88	
06	AG _N	25	24,9	0,4	0,44
07	AG _N	25	24,9	0,4	
10	AG _N	25	24,87	0,52	
12	AGM _A	31	29,97	3,32	3,22
13	AGM _A	25	24,19	3,24	
16	AGM _A	23	22,29	3,09	

Resultados dos Ensaio Realizados nos Corpos de Prova

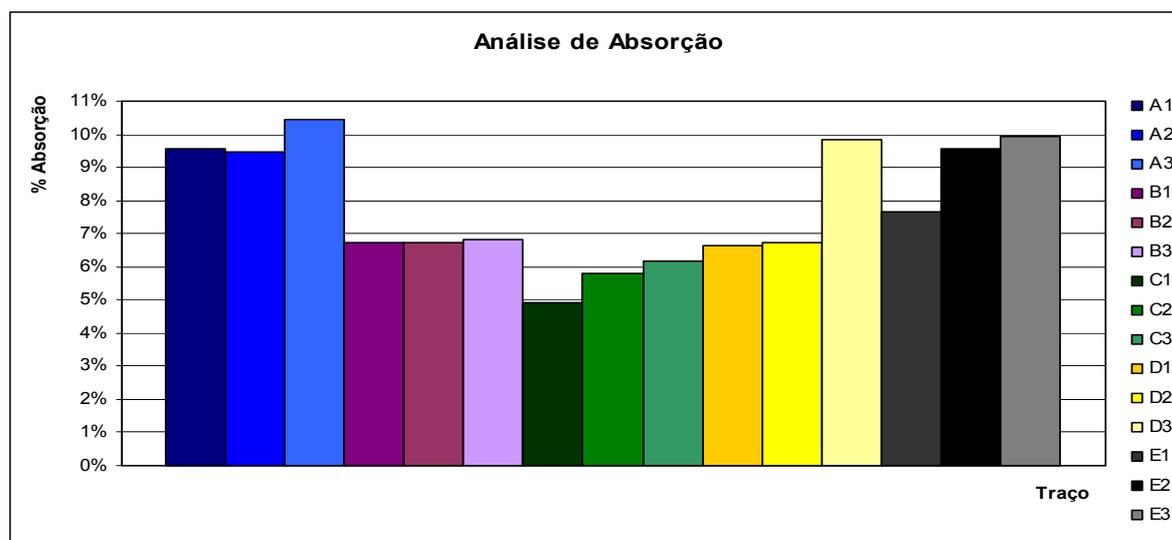


Figura 2 – Resultados dos ensaios de absorção em água

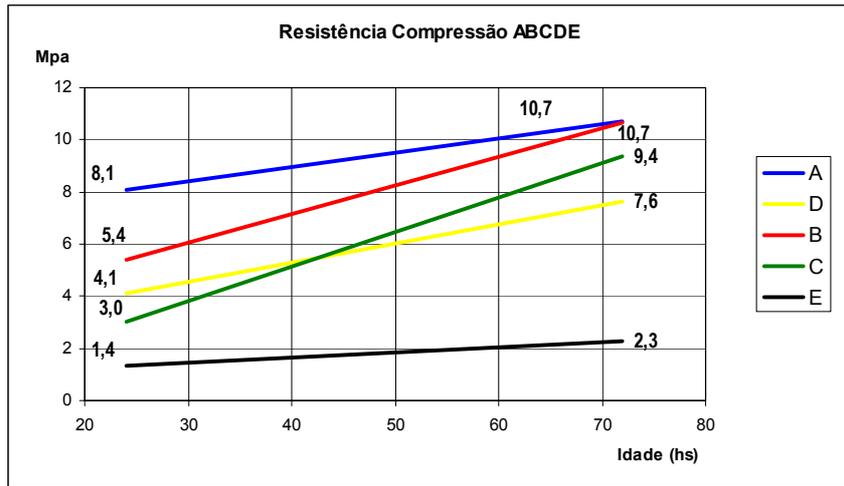


Figura 3 – Resultados dos ensaios de Resistência à Compressão

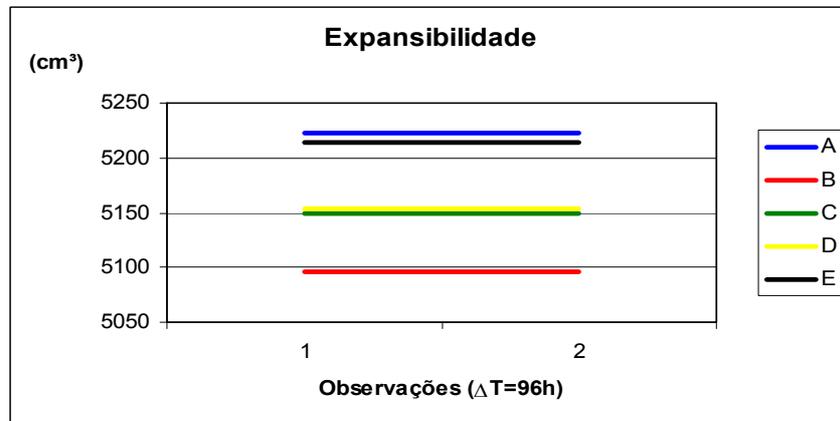


Figura 4 – Resultados dos ensaios de Expansibilidade

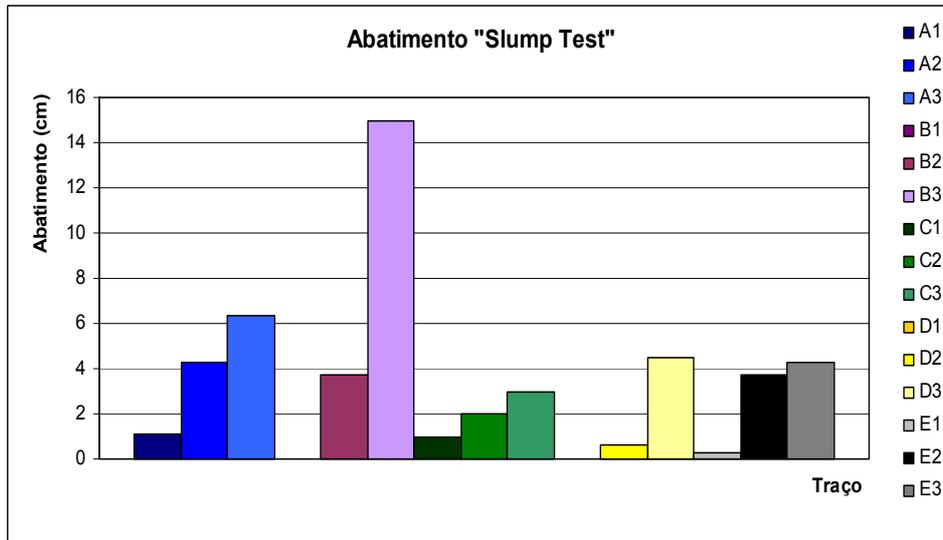


Figura 5 – Resultados dos ensaios de Slump test

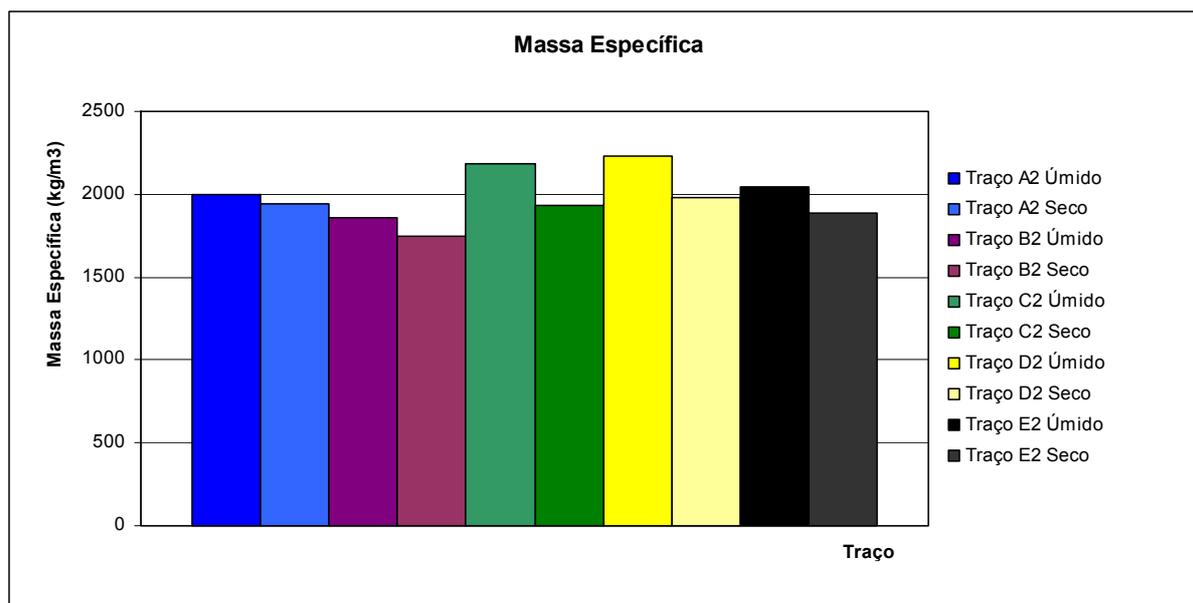


Figura 6– Resultados dos ensaios para determinação da Massa Específica

DISCUSSÃO

Mediante os resultados obtidos dos ensaios conduzidos no LCTmat, foi possível desenvolver um concreto a partir da reciclagem do resíduo sólido proveniente de um processo siderúrgico, melhorando assim suas propriedades, apresentando resultados satisfatórios quando comparados com concretos convencionais.

De acordo com os resultados obtidos da Análise da Composição Granulométrica do resíduo, pôde-se perceber que o mesmo apresenta faixas granulométricas semelhantes às areias e britas naturais, sendo possível substituir os agregados naturais utilizados na dosagem de concretos por um subproduto do processo siderúrgico, minimizando a extração dos recursos naturais, que se tornam cada vez mais escassos, e dos impactos ambientais causados nas áreas de disposição, pois segundo Sjöström^[2] a construção civil consome 15 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade.

Na determinação do Teor de Umidade era esperado que o resíduo apresentasse umidade mais elevada que os agregados naturais devido à sua composição química, alto teor de CaO e MgO que sofrem hidratação.

Através dos testes de caracterização do resíduo, lixiviação e solubilização, o mesmo não apresentou potencial contaminante.

Uma vez definida as propriedades mecânicas dos concretos propostos, quando curadas, em prazo definido pela normalização da ABNT, foram estabelecidos critérios de dosagem e utilização que se apoiem em tecnologias aplicadas à indústria da construção civil.

No ensaio de compressão, comparando os resultados pôde-se perceber que os traços que utilizaram escória tiveram bom comportamento quando comparados ao traço convencional. O traço C, apesar de ter apresentado resistência inicial (24h) menor que os demais traços, com exceção do E, a inclinação da curva é maior, indicando que para tempos maiores de cura (7 e 28 dias) apresentará maior resistência mecânica, todavia será necessário realizar mais ensaios, pois esta pesquisa ainda não é conclusiva.

O traço E apresentou menor desempenho, porém isso não inviabiliza sua aplicação, pode ser utilizado em locais que exigem pouca solicitação de esforços.

Do ponto de vista de engenharia, salienta-se a preocupação com o comportamento expansivo desse material quando na presença de água, hidratação, principalmente o CaO e MgO. Outros elementos constituintes do material estudado também apresentam propriedades expansivas, mas oriundas de processos de carbonatação, (CaCO₃ – calcita, aragonita) e oxidação (FeO, Fe(OH)₂ – wüstita, hematita).

Com a hidratação, o óxido de cálcio (CaO), aumenta em 99% seu volume e 54% sua superfície. Essa variação volumétrica leva, em alguns casos, o material à pulverização devido às tensões relativas à expansão molar.^[28] Já o óxido de magnésio, ao se hidratar, pode aumentar seu volume em até 119,5%.^[29]

Estudos indicam que somente com a limitação dos teores de CaO e MgO das escórias, seria possível o controle de sua expansão,^[12] uma vez que fatores como teor de umidade, temperatura, teor de CO₂, granulométrica e disponibilidade desses minerais são diretamente responsáveis pelo indesejado aumento de volume.

Gumeiri^[12] indica tempo de estabilização para escórias de aciaria depositadas ao tempo, de 3 meses. Esses valores recebem tratamentos diferenciados em função de cada abordagem normativa, o que sugere cuidados especiais no tratamento e utilização desses materiais.

Em relação à cura o material, as pilhas não devem ser muito altas. Essa restrição na altura viabiliza o acesso da água e do CO₂, a todas as camadas do material, inclusive as mais inferiores, o que acelera a estabilização, pilhas mais baixas possuem cura mais eficiente em tempo menor.

Ainda em relação à cura, a granulometria tem soberana importância. Quanto mais fino for o material, menor o tempo de estabilização, onde podemos chegar a tempos de cura que variam de 4 a 12 semanas, para material depositado em condições ambientes.

Os corpos de prova não apresentaram expansibilidade, pois através de estudos e ensaios desenvolvidos nos laboratórios LCTmat – CET e através da parceria com a empresa RECICLOS, foi possível estabilizar a escória, evitando o inconveniente da expansibilidade que a maioria das escórias apresentam, limitando assim suas aplicações.

Pelo fato do resíduo ser um produto a base de um resíduo industrial, foi possível minimizar o impacto ambiental causado nas áreas de disposição e estocagem, além de que foi obtido um produto de base tecnológica economicamente viável, tendo largas aplicações nas áreas da construção civil e obras de engenharia.

CONCLUSÃO

O conceito de desenvolvimento sustentável está criando profundas raízes na sociedade e, certamente, deverá atingir as atividades do macro-complexo da construção civil, da extração de matérias primas, produção de materiais de construção, chegando ao canteiro e as etapas de operação/manutenção e demolição. A reciclagem de resíduos de outras indústrias é uma tendência que deverá se aprofundar no setor. O desenvolvimento de produtos contendo resíduos, alguns deles perigosos, é atividade multidisciplinar.

Através dessa pesquisa foi possível a obtenção de um produto de base tecnológica, apoiado em soluções de engenharia, fundamentado e normalizado, tendo em vista a transformação de um resíduo industrial em matéria-prima para indústria de construção civil apresentando viabilidade técnica, econômica e soluções ecologicamente corretas e adequadas aos resíduos sólidos industriais.

Em consequência desta proposta de pesquisa e do seu sucesso, foram realizadas parcerias com empresas dentro da região do Vale do Aço, contratos de trabalho e desenvolvimento de projetos com empresas de outras cidades e prefeituras de cidades vizinhas.

REFERÊNCIAS

- 1 PERA, J. State of the art report – use of waste materials in construction in western-europe. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. **Anais**. São Paulo, 1996. p. 1-20.
- 2 SJÖSTRÖM, Ch. Durability and sustainable use of building materials. In: **Sustainable use of materials**. J.W. Llewellyn & H. Davies editors. [London/ BRE/RILEM, 1992].
- 3 JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 102 p. São Paulo, 2000. Tese (Livre docência) Escola Politécnica da Universidade de São de São Paulo.
- 4 BILODEAU, A. MALHOTRA, M. High-volume fly ash sytem: concrete solution for sustainable development. **ACI Materials Journal**, p.41-48. Jan.-Feb. 2000.
- 5 INDUSTRY AND ENVIRONMENT **Construction and the environment: fact and figures**. Paris: UNEPIE, v. 29 n°2 April-June 1996 p.2-8
- 6 JOHN, V.M. **Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio**. São Paulo, PCC/USP, 1995 200p. (Tese de Doutorado)
- 7 ENBRI **Development of a framework for environmental assesement of building materials and compoments**. (ENBRI Propposal to European Community BRITE EURAM Program). Mimeo. 18 Março 1994
- 8 JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos agro-industriais para uso na construção civil no Brasil: o caso da escória de alto-forno**. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Anais**. São Paulo, 1997. p. 87-76.
- 9 JOHN, V.M. Pesquisa e Desenvolvimento de Mercados para Resíduos. In: **Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção**. *Anais...*São Paulo : ANTAC, 25-16 Nov. 1996 p.21-31
- 10 LOUZADA, D. M. **Contribuição ao estudo da aplicação das escórias siderúrgicas na fabricação de blocos de concreto**. Rio de Janeiro, RJ. 1991, 85p. Dissertação(Mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal Fluminense.
- 11 MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Escórias siderúrgicas - material de múltiplas aplicações**. Brasília: Departamento Nacional de Estradas e Rodagens – Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1988. 50p.
- 12 GUMIERI, A. G. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de escórias de aciaria do processo LD em materiais de construção civil**. Porto Alegre, 2000,91 p. [Proposta de Tese, apresentada no NORIE-UFRGS, em março de 2000].
- 13 MASUERO, A. B. **Estabilização das escórias de aciaria elétricas com vistas a sua utilização como material para construção civil**.. Porto Alegre, 1998. 52 p. [Proposta de tese, apresentada para pré qualificação de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais].
- 14 GEYER, R. M. T. et al. Escórias siderúrgicas: caracterização e aplicações para a indústria da construção civil. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO E MATÉRIAS PRIMAS, RESÍDUOS NA SIDERURGIA, 25, ABM, Volta Redonda, nov. 1994, p.363-381.

- 15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10007 – **Amostragem de resíduos**. Rio de Janeiro, 1987.
- 16 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004 – **Resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 1987.
- 17 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10005 – **Lixiviação de resíduos**. Rio de Janeiro, 1987.
- 18 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10006 – **Solubilidade de resíduos**. Rio de Janeiro, 1987.
- 19 BAUER, L.A. FALCÃO, **Materiais de construção**, 5ª edição_Rio de Janeiro 1995.
- 20 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7217 – **Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
- 21 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9776 – **Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapmann**. Rio de Janeiro, 1987.
- 22 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7251 – **Agregados em estado solto: determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1982.
- 23 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS (DNER). DNER-ME 213/94. Solos – **Determinação do Teor de Umidade**, Rio de Janeiro, 1979.
- 24 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738 – **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 1994.
- 25 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739 – **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.
- 26 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7223 – **Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1992.
- 27 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9778 – **Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 1990.
- 28 CINCOTTO, M. A. et al. **Caracterização de escória granulada de alto-forno e seu emprego como aglomerante e agregado**. São Paulo, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2, 1994, 34p. (Boletim 65).
- 29 WEAST, R.C. Handbook of chemistry and physics. 52 ed. Cleveland, 1971.
- 30 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6474 – **Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 1984.