

DESENVOLVIMENTO DE BRIQUETES AUTORREDUTORES A PARTIR DE PÓ DE ACIÁRIA

M. S. Soares (1); E.O. Alves (1); E. Fagury Neto (1);
Universidade Federal do Pará – (1) Faculdade de Engenharia de Materiais
Campus Universitário de Marabá – Marabá – PA
Folha 17, Quadra 04 Lote - Especial – CEP: 68505-080
mychellangelo@yahoo.com.br

RESUMO

O Pó de aciaria é um dos resíduos sólidos gerados pela indústria siderúrgica durante a produção de aço em forno elétrico a arco. Este material não encontra utilização e geralmente tem destinação final em aterros de resíduos industriais. O objetivo do presente trabalho foi buscar uma solução para a reciclagem do pó de aciaria gerado em usinas semi-integradas dentro do próprio processo produtivo. A solução proposta foi o desenvolvimento de briquetes autorredutores elaborados com o pó de aciaria e finos de carvão vegetal, com possibilidade de utilização na carga do forno elétrico à arco. Os corpos de prova cilíndricos, medindo cerca de 30 mm de diâmetro, foram prensados e sinterizados em forno elétrico tipo mufla, com resfriamento lento em laboratório. As temperaturas de queima foram de 700°C, 800°C, 900°C e 1000°C com patamares de queima de 30 e 60 minutos.

Palavras chave: Resíduo; Pó de Aciaria; Briquetagem; Reciclagem.

INTRODUÇÃO

As atividades siderúrgicas são responsáveis pela geração de uma grande variedade e quantidade de resíduos passíveis de reciclagem. Devido à crescente preocupação com as questões ambientais, várias indústrias passaram a investir em novas alternativas para solucionar os problemas decorrentes da sua geração e disposição. Os resíduos industriais podem ter basicamente três destinos: descarte, reaproveitamento interno ou reaproveitamento externo. O descarte puro e simples de resíduos tem sido cada vez mais desestimulado, principalmente devido às normas cada vez mais rígidas quanto às qualidades de aterros. A reciclagem de resíduos tem sido

apontada como a solução mais interessante para os problemas dos resíduos industriais, pois é o principal componente para a realização de um desenvolvimento auto-sustentável. A recuperação dos valores metálicos contidos nos resíduos sólidos passou a ser muito importante, tanto do ponto de vista das restrições legais impostas pelas legislações relativas à proteção do meio ambiente, como do ponto de vista econômico, por contribuírem para a compensação dos custos de instalação e operação de equipamentos antipoluição instalados nas usinas. Por isso a importância de se implementar ações e métodos de custo-benefício para uma maior integração sócio econômica ambiental no setor siderúrgico [5].

MATERIAIS E MÉTODOS

O pó de aciaria com partículas inferiores a 100 µm foi coletado de uma usina integrada proveniente de processos siderúrgicos, do município de Marabá-PA. O carvão vegetal utilizado neste estudo foi o mesmo da siderúrgica integrada. Foi utilizado também cimento Portland tipo ARI (alta resistência inicial). Tal matéria-prima possui, sem qualquer processamento, uma granulometria apta a briquetagem (100% dos finos com granulometria inferior a 100 µm). Conferindo a resistência apropriada para elaboração do briquete. A determinação da composição química das amostras utilizadas foi realizada por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (XRF), utilizando espectrômetro WDS seqüencial, modelo Axios Minerals da marca PANalytical. As análises mineralógicas foram realizadas em difratômetro de raios-X modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), PANalytical. Os ensaios de análise térmica diferencial (ATD) e termogravimetria (TG) foram realizados simultaneamente em instrumento de análise térmica, TA Instruments, modelo SDT Q600. A análise morfológica foi realizada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), em um aparelho HITACHI TM-3000, com espectrômetro de energia dispersiva de raios-X (EDS) acoplado. Para determinação da distribuição granulométrica foi utilizado o equipamento da marca Beckman Coulter, modelo LS13320. Para a conformação dos briquetes utilizou-se uma matriz cilíndrica de aço com diâmetro igual a 30 mm. Os briquetes foram confeccionados numa

prensa hidráulica manual MARCON. A pressão aplicada foi de 3 tf/cm², equivalente a 29,41 MPa.

Para determinar as propriedades tecnológicas realizou-se os seguintes testes: ensaio de resistência à compressão diametral, absorção de água, porosidade aparente, resistência à abrasão através do método de peneiramento em peneirador vibratório do tipo Ro-Tap [6].

Para confecção dos briquetes autorredutores foi considerada a seguinte metodologia:



Figura 1: Fluxograma da metodologia de confecção dos briquetes.

A formulação proposta neste trabalho é mostrada na Tabela 1, a seguir. Os briquetes confeccionados continham 7g de material.

Tabela 1: Formulação proposta.

Pó de aciaria	Carvão (Vegetal)	Cimento
80%	10%	10%

A redução dos briquetes foi realizada segundo os ciclos térmicos propostos nas Tabelas 2 e 3, com resfriamento lento e patamar de 30 e 60 minutos, respectivamente em cada ciclo. Utilizou-se para tanto um forno tipo mufla .

Tabela 2: Ciclo térmico 1

Temp. (o C)	700	800	900	1000
Tempo (min)	30	30	30	30

Tabela 3: Ciclo térmico 2

Temp. (o C)	700	800	900	1000
Tempo (min)	60	60	60	60

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados dos testes realizados nos briquetes.

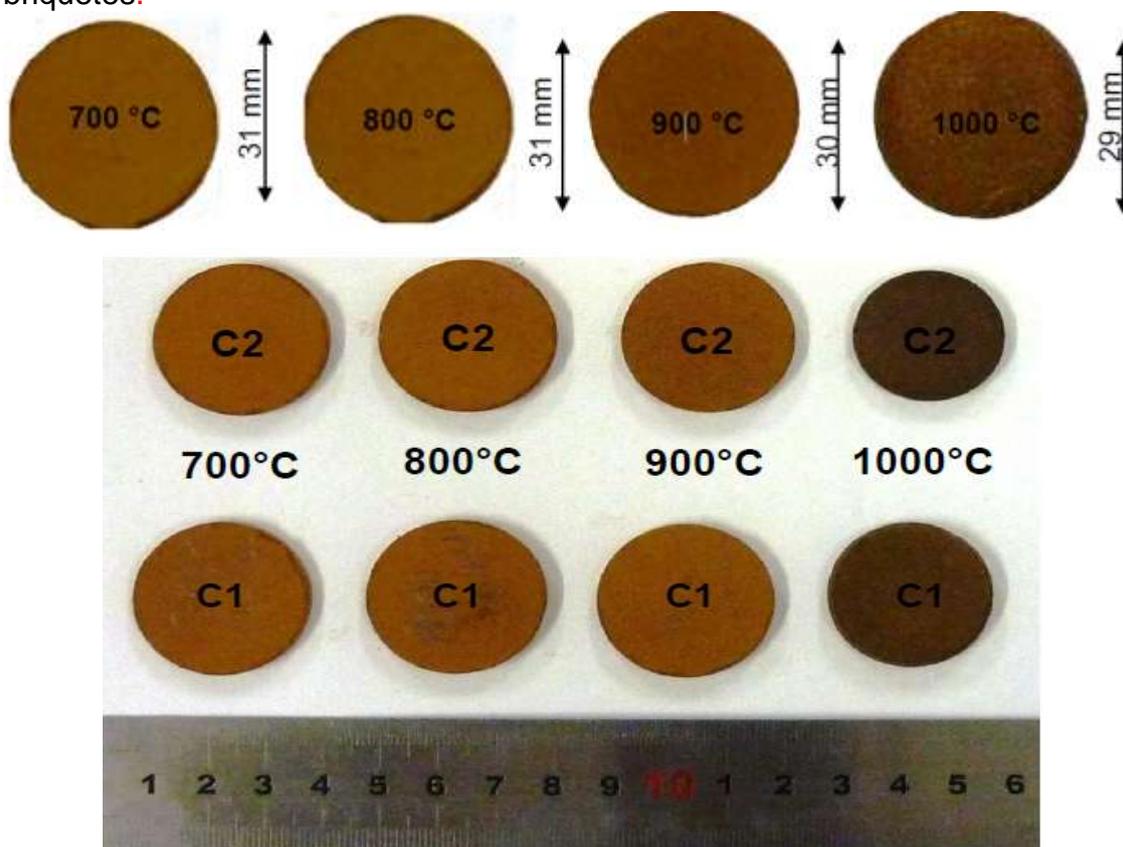


Figura 2. Briquetes autorredutores. C1: ciclo 1, 30 minutos; C2: ciclo 2, 60 minutos.

A Tabela 4 apresenta a análise química elementar do resíduo de aciaria, determinada por XRF.

Tabela 4: Composição química elementar do pó de aciaria estudado

Elemento	% em massa
SiO ₂	5,06
Al ₂ O ₃	1,44
Fe₂O₃	45,78
TiO ₂	0,11
MnO	1,44
MgO	3,16
CaO	7,02
K ₂ O	2,19
Na ₂ O	10,84
P ₂ O ₅	0,26
PbO	0,87
ZnO	9,09
Cl	0,95

O resultado da composição química mostra que o principal constituinte do pó de aciaria em estudo é o óxido de ferro, com o percentual de 45,78% o qual é o componente de principal interesse nesse estudo.

A Figura 3 mostra os resultados da análise mineralógica realizada na amostra do pó de aciaria.

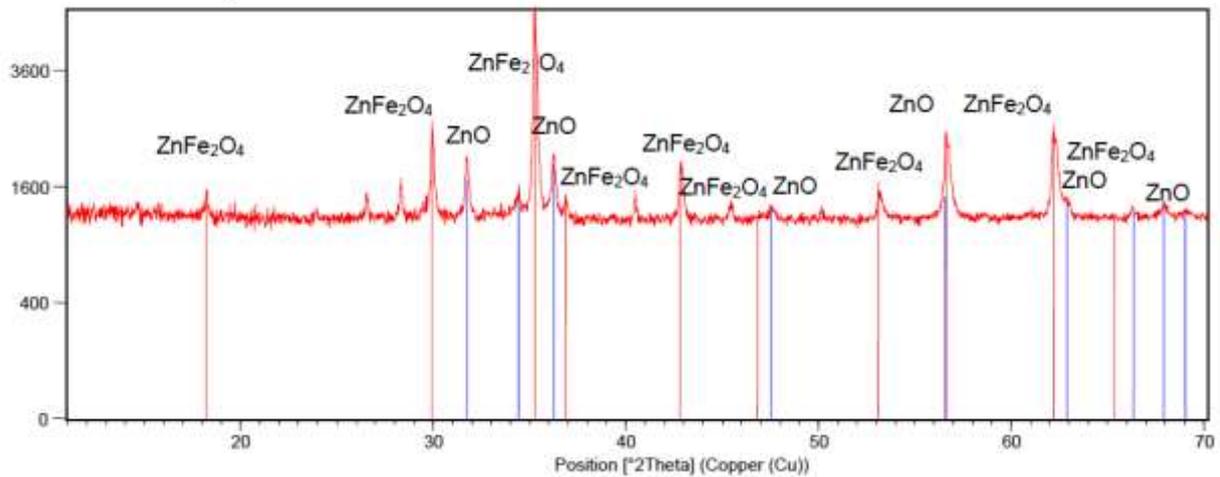


Figura 3. Difratoograma de raios-X do pó de aciaria elétrica – PAE.

Entre os minerais encontrados na análise mineralógica do resíduo, alguns pertencem ao grupo dos espinélios, tais como a franklinita ($ZnFe_2O_4$), representada pelos traços vermelhos. E adicionalmente, a segunda fase mais abundante foi o de ZnO (Zincita) correspondente aos traços azuis. Esta fase de Zn, a principio, faz sentido com a presença de um espinélio de ($ZnFe_2O_4$). A franklinita e a Zincita são os minerais em maior abundância no pó de aciaria estudado.

A Figura 4 apresenta o resultado de ATD/TG em atmosfera oxidante para a amostra de pó de aciaria elétrica.

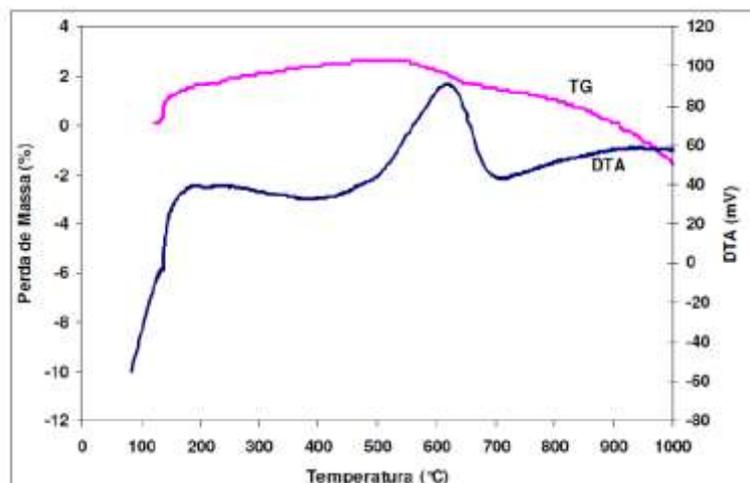
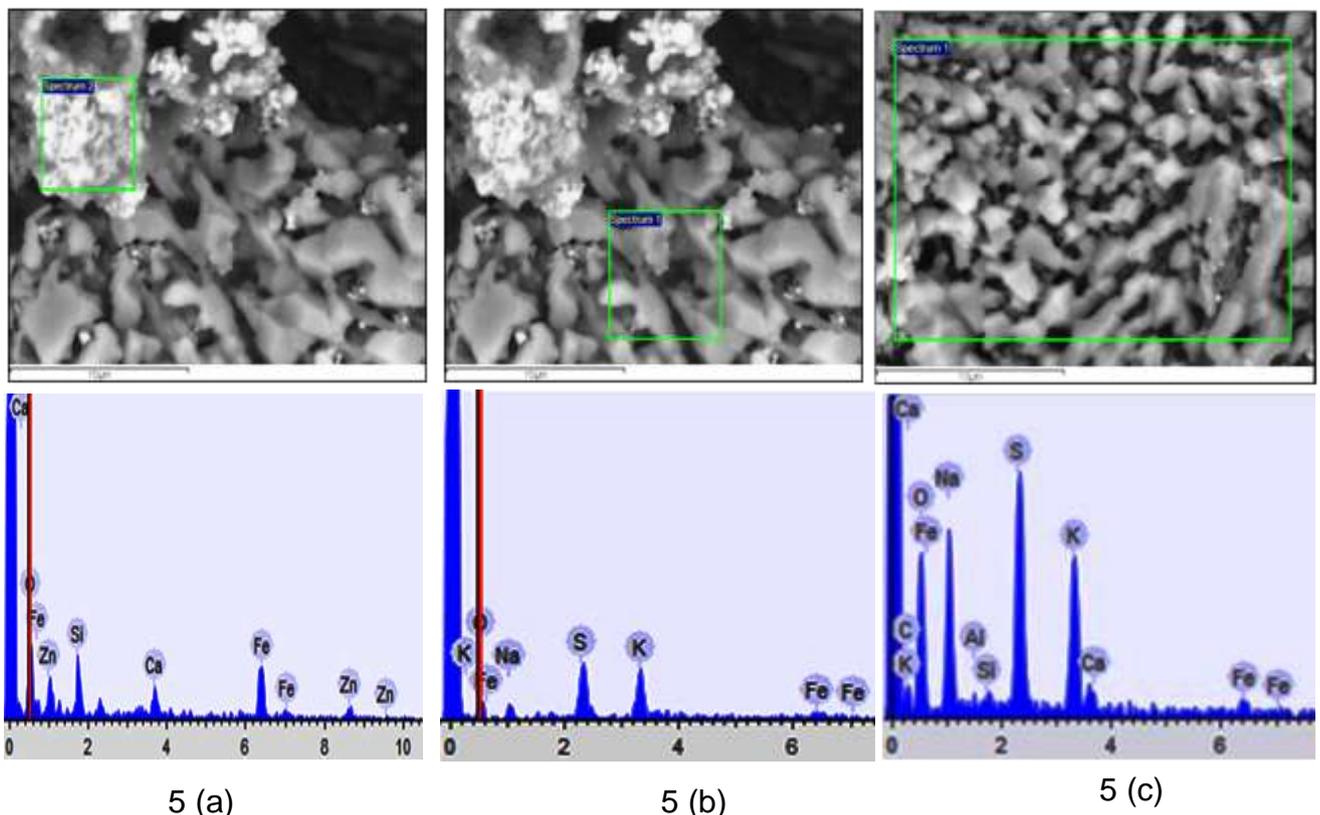


Figura 4. Análise térmica diferencial (ATD) e termogravimétrica (TG) do pó de aciaria em atmosfera oxidante.

A curva de perda de massa (TG) mostra uma perda acentuada a partir de 500 °C, provavelmente referente à oxidação de material carbonáceo associado ao rejeito. A curva de ATD mostra um forte pico exotérmico em torno de 600 °C referente à oxidação do referido carbono remanescente. Conforme indicado na análise mineralógica do resíduo, o zinco está presente, na grande maioria, sob a forma de franklinita. Não foi constatada na análise térmica a volatilização de Zn, que ocorre a partir de 900 °C, e nem a sublimação de óxido de zinco, pois esta inicia-se em torno de 1800 °C. A amostra de pó de aciaria apresentou uma significativa perda de massa total, em torno de 50% até 1000 °C.

Na Figura 5 (a,b,c,d), respectivamente nota-se que a morfologia predominante das partículas de pó de aciaria elétrica é esferoidal irregular; morfologia esta condizente com o principal mecanismo de formação deste material particulado, que ocorre pela ejeção de partículas tanto da escória como do metal líquido. Análises semi-quantitativas e pontuais (EDS) destas partículas de pó de aciaria foram realizadas em várias microrregiões. Estes espectros mostram a presença de potássio, oxigênio, sódio, silício, zinco, alumínio, carbono, enxofre, cálcio, zinco e ferro. Os elementos identificados por EDS confirmam de forma qualitativa a composição química do resíduo, apresentada na Tabela 4, e a composição mineralógica, mostrada na Figura 3.



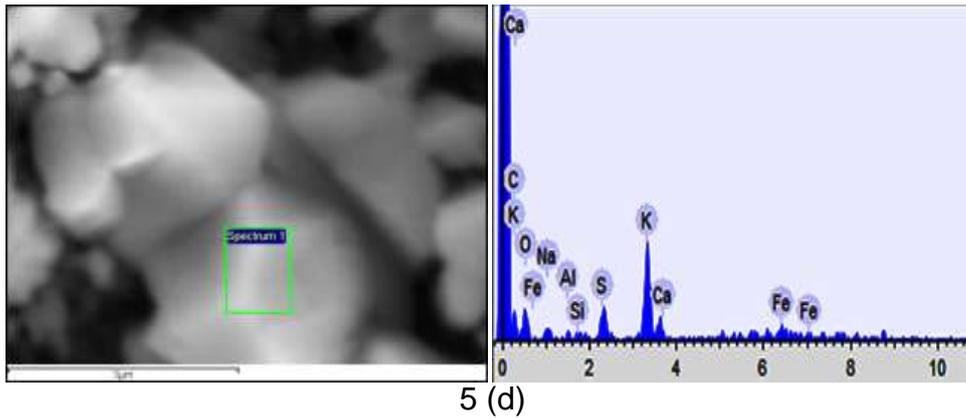


Figura 5. Micrografias de MEV e espectros de EDS de partículas de pó de aciaria.

O resultado da distribuição de tamanho de partículas em relação ao diâmetro das mesmas, para o pó de aciaria, é apresentado na Figura 7. Esta distribuição granulométrica mostra que o resíduo é muito fino, com D50 igual a 1,99 μm e Dmédio de 3,25 μm .

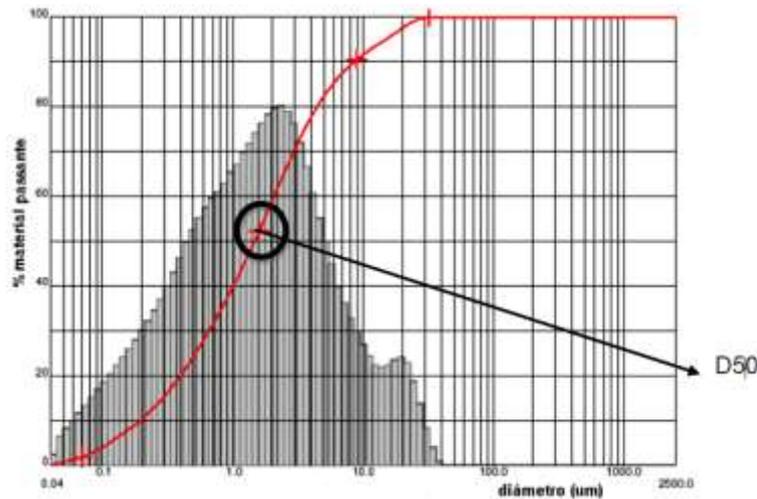


Figura 7. Distribuição granulométrica de pó de aciaria.

Nas Figuras 8, 9 e 10 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização das propriedades tecnológicas ^[1] dos briquetes sinterizados nas temperaturas de 700°C, 800°C, 900°C e 1000°C, com ciclos distintos de queima.

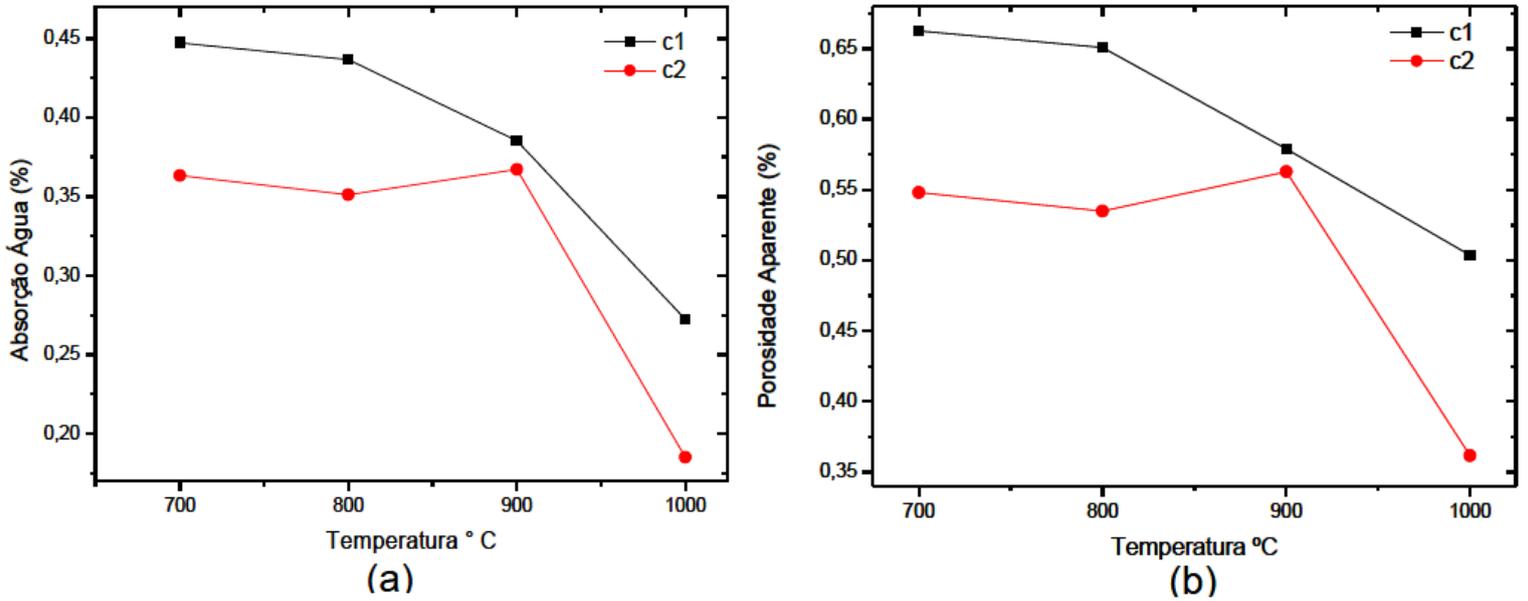


Figura 8. Absorção de água (a) e porosidade aparente (b) dos briquetes sinterizados.

Os resultados mostraram uma relação direta da diminuição da porosidade e absorção de água para temperaturas crescentes de queima do material. Este comportamento foi devido ao aumento da temperatura, o qual permite maiores transformações físico-químicas, influenciando no comportamento do material quanto a estas propriedades, como também na sua densificação, como resultado de uma melhor sinterização/vitrificação.

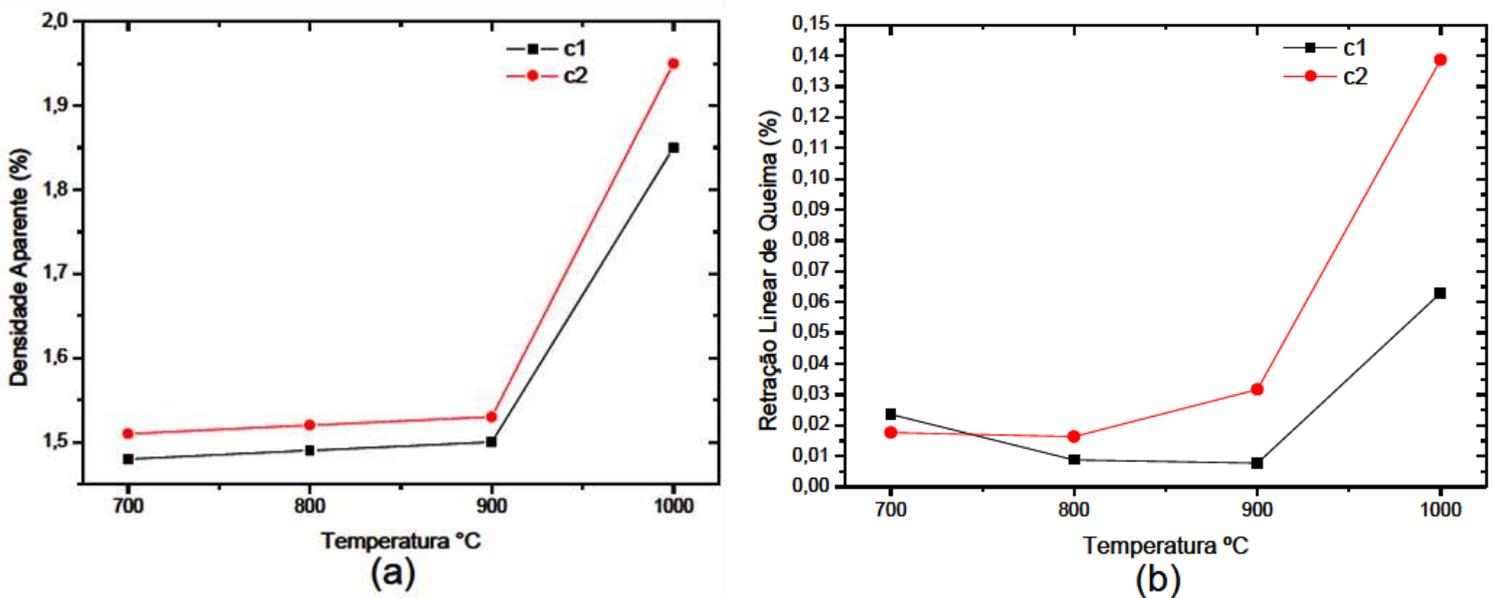


Figura 9. Densidade aparente (a) e retração linear de queima (b) dos briquetes sinterizados.

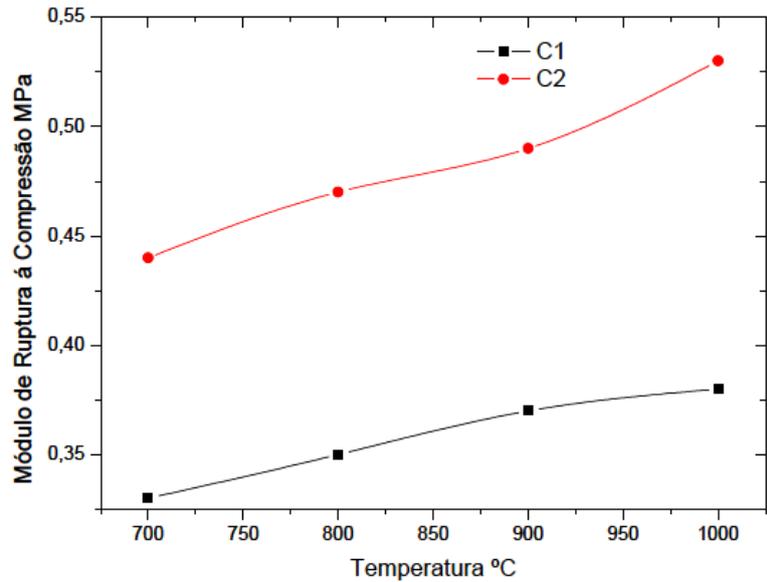


Figura 10. Módulo de ruptura a flexão em função da temperatura dos briquetes sinterizados.

Através da Figura 9 (a e b) constatou-se que, tanto a densidade aparente como a retração linear aumentaram conforme a temperatura em que o material foi queimado também aumentou. Os resultados de densidade aparente e retração linear estão associados à densificação das amostras com a densificação crescente, em função da queima. As curvas da Figura 10 mostraram que os briquetes sinterizados pelo ciclo 2 apresentaram maior módulo de ruptura a flexão. Isso se deve ao processo de densificação do briquete.

NA figura 11 indica que o ciclo 2 – C2 apresentou uma melhor densificação e concentração de ferro, na faixa de temperatura de 950 °C, o tempo de 1 hora de queima foi suficiente para que as reações acontecessem de acordo com o esperado.

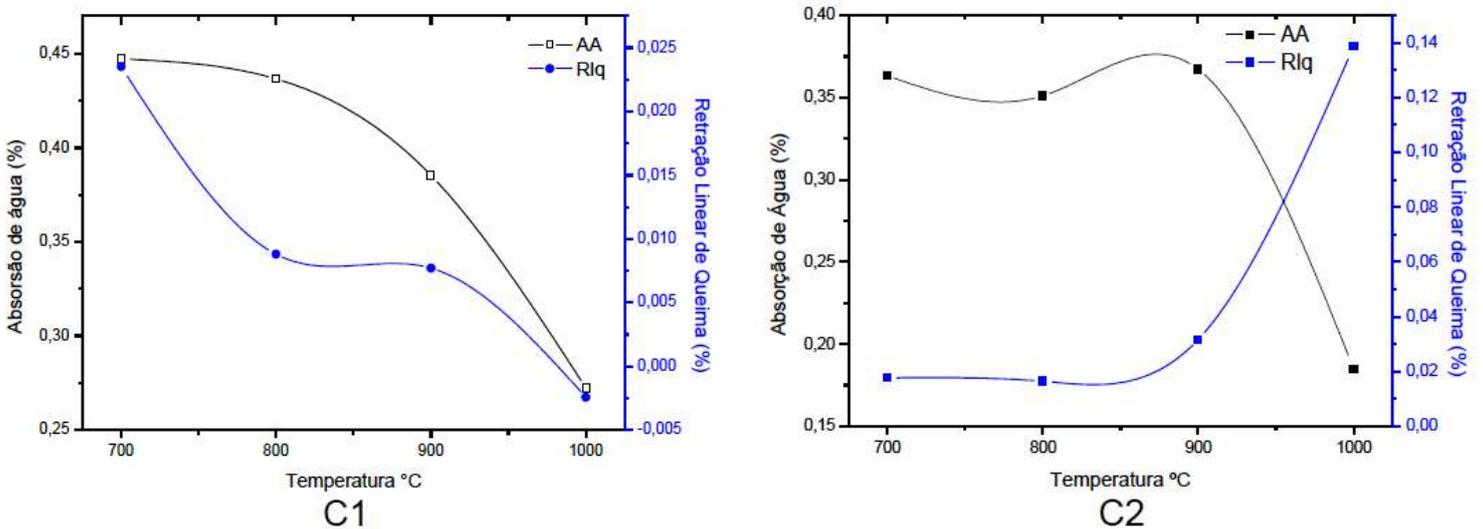


Figura 11. Curvas de gresificação das amostras sinterizadas nos ciclos C1 e C2.

Foram realizados ensaios para determinação da densidade real dos briquetes após sinterização. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Média densidade real do briquete

Média densidade real do briquete ciclo 1	Média densidade real do briquete ciclo 2
dméd = 0,98 g/ml	dméd = 2,04 g/ml

Foram utilizados 30 corpos de prova para determinação da média da densidade real dos briquetes. As amostras provenientes do ciclo 2 foram as que apresentaram maior densidade, o que caracteriza a maior redução do ferro contido no mesmo.

Os testes de abrasão realizados nos briquetes apresentaram os resultados mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Abrasão dos briquetes

Abrasão ciclo 1		Abrasão ciclo 2	
Massa Inicial	Massa Final	Massa Inicial	Massa Final
500g	496,2g	500g	498,1g

Após o teste de abrasão, constatou-se novamente que o ciclo 2 obteve um resultado significativo com perda inferior a 5 % que, de acordo com Carvalho, 2011, apresenta uma boa qualidade, certificando assim o desenvolvimento do briquete em estudo ^[4].

CONCLUSÕES

Os resultados de composição química das matérias-primas comprovaram que é possível aproveitar cerca de 40 % do ferro contido no pó de aciaria em forma de briquetes, em vez de descartá-lo. O pó de aciaria apresentou uma granulometria adequada para aglomeração sem necessidade de beneficiamento prévio resultando em ganho de energia na cadeia produtiva. Os briquetes autorredutores desenvolvidos com pó de aciaria e finos de carvão vegetal apresentaram boa conformação, não se verificando a ocorrência significativa de crepitação e inchamento catastrófico. Os finos de carvão

vegetal oferecem propriedades químicas e físicas adequadas para sua utilização como agente de redução na confecção de briquetes autorredutores de óxidos de ferro, uma vez que sejam convenientemente preparados. O ciclo de aquecimento 2 apresentou os melhores resultados em termos do comportamento de gresificação e resistência à abrasão do briquetes.

REFERÊNCIAS

[1] Norma ABNT. **Materiais refratários densos conformados**: determinação da densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida. NBR 6220. Rio de Janeiro, 1997. 2 p.

[2] MELCHIADES, F. G.; QUINTEIRO, E. BOSCHI, O. A. A curva de gresificação: parte I. **Cerâmica Industrial**. v. 1, n. 04/05, p. 30-31. 1996.

[3] MELCHIADES, F. G.; QUINTEIRO, E.; BOSCHI, O. A. A curva de gresificação: parte II. **Cerâmica Industrial**. v. 2, n. 01/02, p. 23-26. 1997.

[4] DE CARVALHO, E. A., BRINCK, V. Briquetagem: **Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios Pág. 613 a 636**. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-190-00.pdf>>. Acesso em 20 de maio de 2011.

[5] BATISTA, E. A gestão de Resíduos e co-produtos na Arcelos Mittal Tubarão, 2008, in: **2º Wokshop de Sustentabilidade do Setor Siderúrgico Brasileiro**, disponível: em http://www.abmbrasil.com.br/cim/download/20080327_2workshopagregado_EltonBatista.pdf.

[6] CASTELÕES, R.C.M. – Estudos de briquetagem em escala piloto de finos produzidos na Cia. Metalúrgica Barbará – CETEM, Relatório Técnico, RT20/95, set., 1995.

ABSTRACT

The flue dust is a solid waste generated by the steel industry during the production of steel in electric arc furnaces. This material is not used and is usually disposed in landfills for industrial waste. The aim of this paper is to search a solution for the dust generation by the recycling of EAF dust of semi-integrated steel plants, within the production process. The proposed solution was the development of auto-reducing briquettes prepared with the flue dust and charcoal powder, with the possibility of using these briquettes into the steel furnace. The specimens were conformed into cylindrical shape, with 30 mm in diameter. They were pressed and fired in electric oven with slow cooling. The firing temperatures were 700 ° C, 800 ° C, 900 ° C and 1000 ° C with 30 and 60 minutes of soaking time.

Key-words: Waste; EAF dust; Briquetting; Recycling