

CARACTERIZAÇÃO DE CAREPA METÁLICA VISANDO SUA VALORIZAÇÃO COMO COPRODUTO¹

*Carlos Alberto Mendes Moraes²
 Daiane Calheiro Evaldt³
 Alini Luisa Diehl Camacho⁴
 Agnes Mitzi Kich⁵*

Resumo

A sociedade obteve, a partir da Revolução Industrial, além de ganhos econômicos um aumento exponencial dos impactos ambientais negativos. Tendo em vista a atual problemática da degradação ambiental, não se pode negar a importância do princípio da prevenção para manter e melhorar a qualidade de vida das populações e evitar o esgotamento das reservas de recursos não renováveis. Para buscar um desenvolvimento mais sustentável é necessário retirar o mínimo possível dos recursos extraídos da natureza, avaliando, portanto, o uso de resíduos que atualmente são descartados em aterros. Neste sentido, a proposta apresentada neste artigo visa caracterizar o resíduo de carepa de forjaria oriundo de uma empresa metal mecânica a fim de torná-lo um coproduto. Portanto, para atingir os objetivos do projeto será realizada uma caracterização física e química do material, como granulometria, umidade, fluorescência de raios-x, perda ao fogo, entre outros. Mesmo sendo típicas técnicas de caracterização de resíduos, é necessário que outros ensaios sejam realizados para garantir a reciclagem deste material.

Palavras-chave: Carepa de forjaria; Caracterização de materiais; Coproduto; Reciclagem.

CHARACTERIZATION OF METAL MILL SCALE AIMING ITS VALUATION AS COPRODUCT

Abstract

The society obtained, since the Industrial Revolution, economic gains and also an exponential increase in negative environmental impacts. Given the current problems of environmental degradation, there is no denying the importance of the precautionary principle to maintain and improve the quality of life of the population and prevent the depletion of nonrenewable resources. To search for more sustainable development is necessary to remove the minimum possible resources extracted from nature, evaluating, therefore, the use of wastes that are currently disposed of in landfills. In this sense, the proposal presented in this paper aims to characterize the forging mill scale, which comes from a metalworking company in order to make it a coproduct. Therefore, to achieve the project objectives it was studied a physical and chemical characterization of the material, such as grain size, moisture, x-ray fluorescence, loss on ignition, among others. However the techniques used in this paper are the basic ones to evaluate a solid waste, other techniques must be carried out to evaluate its use as a coproduct.

Key words: Forging mill scale; Materials characterization; Coproduct; Recycling.

¹ *Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Eng. Metalúrgico, Membro da ABM, Prof. Dr., Programa de Pós Graduação em Eng. Civil, Núcleo de Caracterização de Materiais (Nucmat), Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), RS, Brasil.*

³ *Gestora Ambiental, Prof^a Mestre, Pesquisadora, Nucmat, Unisinos, RS, Brasil.*

⁴ *Graduanda em Gestão Ambiental, Nucmat, Laboratorista LCVMat, Unisinos, RS, Brasil.*

⁵ *Graduanda Eng. Ambiental, Nucmat, Estagiária LCVMat, Unisinos, RS, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos é considerada uma das principais fontes de degradação ambiental, sendo que a reciclagem dos mesmos constitui-se em uma importante alternativa para a preservação ambiental. A problemática do tratamento destes resíduos apresenta duas alternativas prioritárias: a primeira é o estudo do processo de fabricação em si, gerador de resíduos, procurando aperfeiçoá-lo no intuito de minimizar sua produção; e a segunda a ideia da reciclagem, que transforma o resíduo em matéria-prima para outros processos de fabricação.⁽¹⁾

Na grande maioria dos casos, o processo de reciclagem contribui em diversos fatores como, por exemplo: redução da poluição, redução do consumo de recursos naturais, redução do consumo de energia, redução do volume de aterro industrial.⁽²⁾

A industrialização trouxe vários problemas ambientais, como: alta concentração populacional, devido à urbanização acelerada; consumo excessivo de recursos naturais, sendo que alguns são recursos naturais não renováveis (petróleo e carvão mineral, por exemplo); contaminação do ar, do solo, das águas; desflorestamento entre outros. Um dos problemas mais visíveis causados pela industrialização é a destinação dos resíduos de qualquer tipo (sólidos, líquidos e gasosos) gerados no processo produtivo, e que afetam o meio ambiente natural e a saúde humana.⁽²⁾

Os resíduos industriais ainda são frequentemente armazenados em recipientes com os quais não se tem a garantia de proteção contra vazamentos e ou depositados em aterros indústrias. Algumas áreas destinadas a estes resíduos já estão bastante comprometidas e, em algumas empresas, podem ocorrer acidentes nestes depósitos, provocando impactos ambientais negativos, tais como contaminação do solo e de águas subterrâneas.⁽³⁾

As legislações ambientais estão mais rigorosas, o que vem forçando as empresas a dar destinos mais seguros aos seus resíduos, principalmente os resíduos classificados como perigosos, que é o caso da carepa de forjaria. Com isso as empresas se viram obrigadas a melhorar seus sistemas produtivos, de maneira a encontrar um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida como um todo.⁽³⁾

Segundo a lei 12305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, a instalação e o funcionamento de empreendimentos ou atividades que gerem, ou operem, com resíduos perigosos somente podem ser autorizados, ou licenciados, pelas autoridades competentes, se o responsável comprovar, no mínimo, capacidade técnica e econômica, além de condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos. As empresas que operam com resíduos perigosos, em qualquer fase do seu gerenciamento, são obrigadas a se cadastrarem no Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos. No licenciamento ambiental o órgão licenciador pode exigir a contratação de seguro de responsabilidade civil por danos causados ao meio ambiente ou à saúde pública. Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada ainda a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.⁽⁴⁾

As siderúrgicas são geradoras de grandes quantidades de resíduos passíveis de reciclagem, sendo que a reutilização da maioria desses materiais ainda está sendo estudada. Devido à crescente preocupação com a preservação ambiental, várias indústrias passaram a investir em novas alternativas para solucionar os problemas decorrentes da sua geração e disposição.⁽⁵⁾

Os principais resíduos do processo siderúrgico classificam-se em escórias, pós,

lamas de alto-forno e aciaria, carepas e os finos de carvão e minério.⁽¹⁾ Segundo Cunha et al.,⁽⁵⁾ por possuírem um grande percentual de ferro, esses resíduos podem apresentar uma grande economia para a empresa, se seu retorno ao processo obtiver aspectos positivos. Esta economia também traz benefícios para o meio ambiente, pois retornando para o consumo, esses resíduos deixam de ocupar espaços em aterros e deixam de gerar gastos com sua estocagem, já que para serem armazenados, eles necessitam de condições específicas que são estabelecidas pelos órgãos ambientais competentes.⁽³⁾ A carepa é um dos principais tipos de resíduos gerados nas indústrias siderúrgicas. Anualmente, cerca de 13,5 milhões de toneladas de carepa são gerados em todo o mundo.⁽⁶⁾

Carepa é um coproduto oriundo da oxidação da superfície do aço, quando submetido a gradiente térmico, ao meio corrosivo ou à simples ação do tempo. Tais resíduos são óxidos de ferro constituídos por óxido de ferro II (FeO), hematita (Fe₂O₃) e magnetita (Fe₃O₄). Por ser formada em um ambiente industrial e com muitas máquinas pesadas, a carepa de forjaria entra em contato com óleo e graxa proveniente da lubrificação das máquinas e matrizes de forjaria, e acaba sendo contaminada por este resíduo perigoso. Assim deve ser gerenciada como resíduo Classe I – Perigoso, conforme norma NBR 10004:2004.⁽⁷⁾

Este artigo tem como objetivo caracterizar físico e quimicamente a carepa gerada no processo de conformação mecânica no setor metal-mecânico.

Anualmente, as empresas siderúrgicas do país, produzem aproximadamente 245 toneladas de carepa, material este que muitas vezes não possui destinação adequada. Devido à grande quantidade de resíduos gerados, algumas empresas estão adotando novas políticas de gestão ambiental, reaproveitando estes resíduos com a finalidade de aumentarem seus lucros.⁽⁸⁾

Embora este resíduo tenha um teor elevado de ferro (de 70% - 75%) ele é vendido a um baixo preço, o que se torna um desperdício industrial sob a forma de óxido de ferro. Uma alternativa para isso seria um processo de reciclagem da carepa.⁽⁹⁾

Na grande maioria dos casos, o processo de reciclagem da carepa contribui em diversos fatores. A utilização de resíduos como matéria-prima reduz consideravelmente quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente. Os resíduos não reciclados são depositados em aterros industriais. Estes aterros ocupam espaços cada vez mais valorizados, especialmente aqueles próximos aos grandes centros urbanos, muitos deles concentram resíduos nocivos responsáveis por acidentes ambientais. A reciclagem pode auxiliar na produção de materiais de menor custo, colaborando na redução do custo das habitações, da infraestrutura de rodovias e de estradas de ferro, de barragens, etc.⁽¹⁾

Os resíduos oriundos das siderúrgicas, em função de suas características e propriedades vêm sendo utilizados na obtenção de materiais reciclados destinados a construção civil. A gestão destes tipos de resíduos é um dos problemas mais complexos e desafiadores do mundo, resíduos estes que tem um grande impacto no meio ambiente. Como exemplo da reciclagem da carepa, cita-se o emprego da carepa na produção de cimento (como substituto parcial de clínquer), como base para vias não pavimentadas e como agregado para concretos.⁽¹⁰⁾

A construção civil é responsável por cerca de 50% do consumo dos recursos naturais. Na busca pela preservação do meio ambiente, cresce o controle ambiental de extração de matérias-primas que resulta na escassez de produtos. Assim, o processo de reciclagem de resíduos para obtenção de materiais de construção civil constitui-se em uma forma de redução e controle do impacto ambiental negativo e do preço final do metro quadrado de construção.⁽¹⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para identificação das características dos materiais, estes foram submetidos a uma série de análises físico-químicas com o objetivo de quantificar e caracterizar os elementos mais importantes dos materiais.

Todos os métodos utilizados para realizar a caracterização da carepa estão apresentados a seguir, conforme o fluxograma (Figura 1).

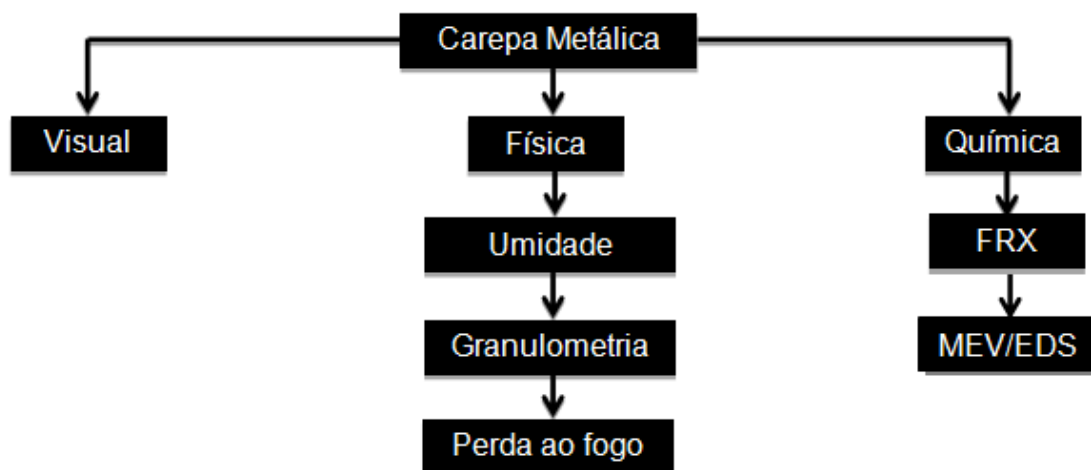


Figura 1. Metodologia utilizada para a caracterização da Carepa metálica.

A carepa em estudo é visualmente um resíduo de coloração escura e de granulometria não muito fina, sendo apresentada na Figura 2.



Figura 2. Resíduo siderúrgico carepa.

2.1 Distribuição Granulométrica

Realizado de acordo com a norma CEMP⁽¹¹⁾ n° 081 – Determinação da distribuição granulométrica e módulo de finura. Esta análise consiste em utilizar um conjunto de peneiras padronizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e calcular a massa do material retido em todas as peneiras. O resultado é expresso em porcentagem em relação à massa total de amostra. O coeficiente de distribuição

é a soma das três peneiras consecutivas que mais apresentam material retido. Denominam-se finos o valor percentual retido nas duas últimas peneiras mais o prato. O módulo de finura corresponde ao valor resultante da série normal citadas anteriormente, dividido por 100. O módulo de finura quantifica se o material é mais grosso ou mais fino, sendo que quanto maior o módulo de finura mais grosso é o material.⁽¹¹⁾

2.2 Umidade

O ensaio consiste em quantificar a água contida na amostra por processo de aquecimento controlado. O teste está de acordo com a norma CEMP n° 105.⁽¹²⁾

2.3 Perda ao Fogo

Através desta análise pode-se determinar a quantidade de matérias orgânicas e voláteis contidas na amostra. Este ensaio foi realizado de acordo com a norma CEMP⁽¹³⁾ n° 120. A perda ao fogo consiste em colocar 1 g de amostra, previamente seca em estufa, a 105°C, em forno mufla a 950°C, durante 3 horas. Após, material é pesado até atingir massa constante. A diferença de peso inicial e final é o resultado da análise.⁽¹³⁾

2.4 Determinação da Composição Química

A determinação da composição química foi feita através do ensaio de Fluorescência de Raios-X (FRX). Esta técnica é não-destrutiva para todos os tipos de amostras.⁽¹⁴⁾ O equipamento utilizado é um Espectrômetro de Fluorescência de raios x por Energia dispersiva, marca EDX 720 HS – Shimadzu Brasil Comércio Ltda.

2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

É fundamentada na emissão de feixe de elétrons, o qual incide sobre uma amostra provocando uma série de emissões de sinais relacionados com a interação entre o feixe de elétrons e amostra. A utilização de equipamentos associados ao MEV, como Espectrômetro de Dispersão de Energia (EDS), permite análise qualitativa e semiquantitativa da composição dos elementos de áreas superficiais. As imagens foram obtidas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura, modelo LS15 marca ZEISS.

3 RESULTADOS

A distribuição granulométrica do resíduo está apresentada na Tabela 1. Os resultados obtidos no ensaio de perda ao fogo do resíduo estão apresentados na Tabela 2. Além disso, a carepa possui 7,75% de umidade.

Obs.: A perda ao fogo foi realizada para cada fração obtida na análise de distribuição granulométrica.

Tabela 1. Distribuição Granulométrica

Malhas	Malhas (mm)	Distribuição granulométrica (%)
4	4,75	7,95
6	3,35	2,73
12	1,7	17,93
20	0,85	32,66
30	0,6	10,75
40	0,42	10,55
50	0,3	7,25
70	0,21	7,06
100	0,15	4,41
140	0,107	1,79
200	0,075	0,032
270	0,053	0,00
300	Prato	0,00

Módulo de Finura: 88,516 ABNT
 Teor de Finos: 0,032%
 Coeficiente de Distribuição: 61,33%

Para uma melhor análise foi construído o gráfico com os valores da Tabela 1 conforme Figura 3.

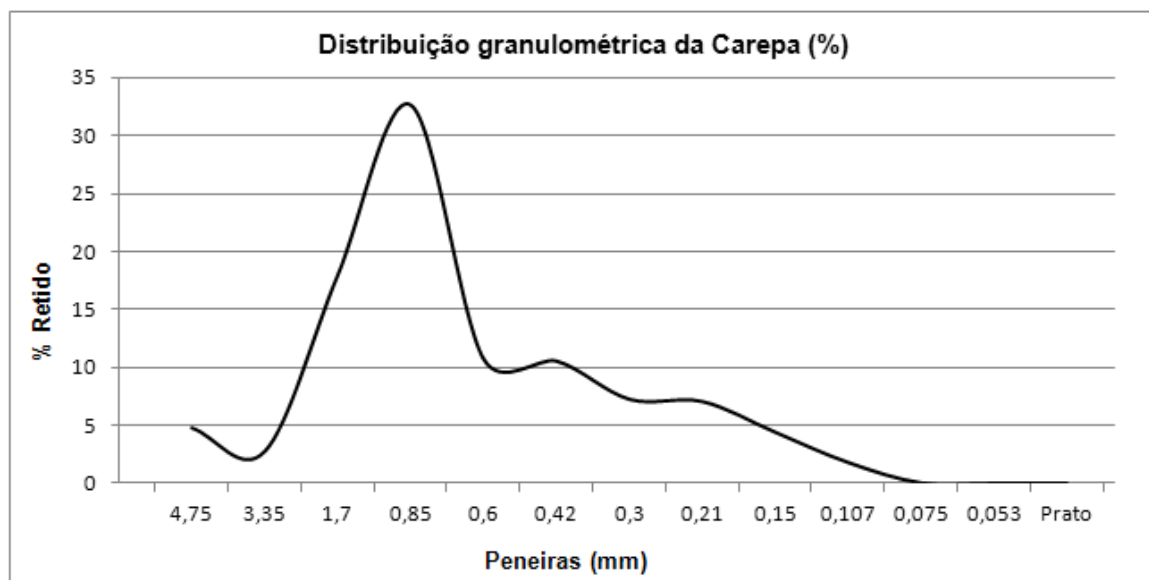


Figura 3. Resultado da distribuição granulométrica.

Os resultados da análise de perda ao fogo do resíduo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado de perda ao fogo por fração de cada peneira

Número da Peneira (ABNT)	Malhas (mm)	Perda ao Fogo (%)
4	4,75	7,95
6	3,35	Ganho de massa (oxidação)
12	1,7	0,76
20	0,85	Ganho de massa (oxidação)
30	0,6	Ganho de massa (oxidação)
40	0,42	0,75
50	0,3	0,22
70	0,21	1,40
100	0,15	3,98
140	0,107	3,91
200	0,075	ND*
270	0,053	ND*
300	Prato	ND*

ND* Não determinado

Os resultados analíticos qualitativos para o ensaio de fluorescência de raios-X, que indicam os elementos químicos inorgânicos presentes no resíduo, estão apresentados abaixo na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados de FRX

Elemento Majoritário	Elementos em menor quantidade	Elementos traços
Ferro (Fe)	Manganês (Mn) e Silício (Si)	Enxofre (S), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Molibdênio (Mo) e Nióbio (Nb)

A análise de MEV foi realizada com dois propósitos uma para avaliar a estrutura (Figuras 5 e 6) e o EDS para analisar quimicamente as fases (Tabela 4 e Figura 7).

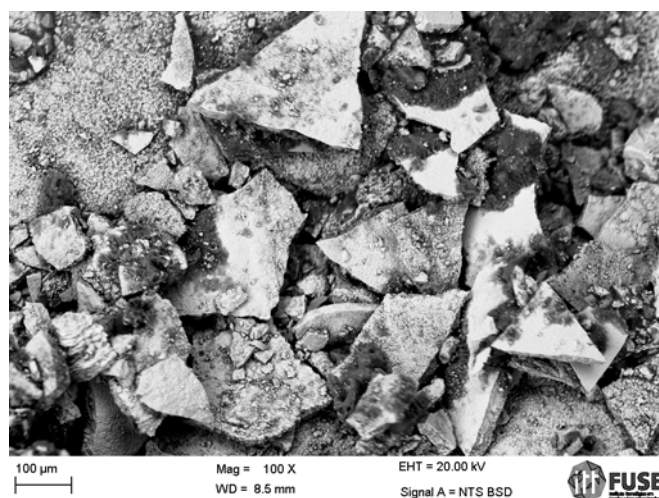


Figura 5. Estrutura da Carepa.

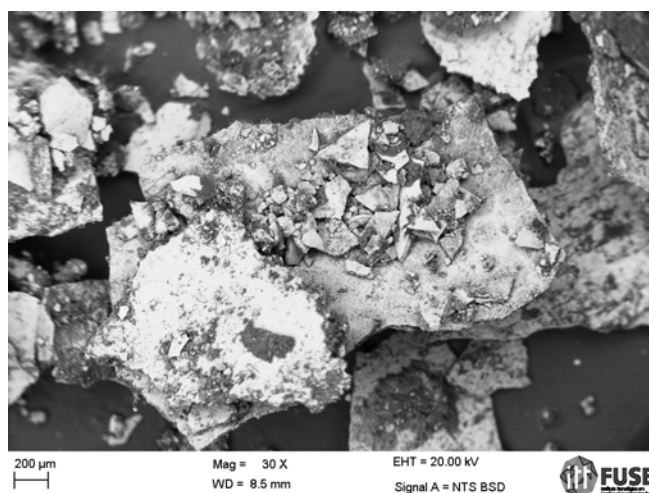


Figura 6. Estrutura da Carepa.

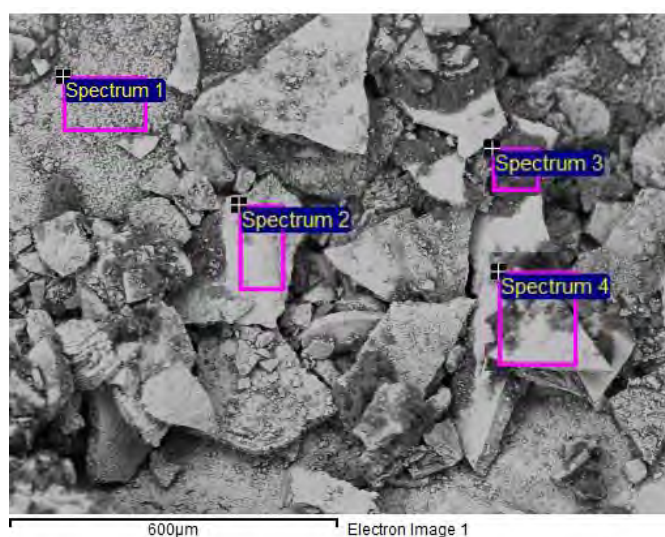


Figura 7. Identificação das fases da carepa para o EDS.

Tabela 4. Análise química das fases

	Spectrum 1	Spectrum 2	Spectrum 3	Spectrum 4
Elemento	Massa %	Massa %	Massa %	Massa %
C	22.84	9.69	37.73	21.12
O	29.32	21.73	40.07	29.78
Na	10.40	4.08	18.48	11.31
Al	ND*	0.25	ND*	ND*
Si	0.63	1.57	0.11	0.20
S	ND*	ND*	0.27	0.16
Cl	ND*	ND*	0.17	ND*
Ca	0.18	0.28	0.10	0.11
Cr	ND*	0.38	ND*	ND*
Mn	0.54	1.15	ND*	0.40
Fe	35.84	60.35	3.07	36.93
Cu	0.25	0.51	ND*	ND*

*ND = Não detectado

4 DISCUSSÃO

O resíduo carepa de forjaria apresentou em sua composição 7,75% de umidade. Isto se deve ao armazenamento em que o material ficou exposto após sua geração, pois é armazenado com materiais contaminados com óleo.

Foi realizada perda ao fogo da amostra geral, sem a segregação e verificou-se aumento de massa, então decidimos realizar por peneiras a fim de determinar em qual granulometria estaria ocorrendo este aumento de peso.

Os valores obtidos durante o ensaio de perda ao fogo foram baixos, isso se deve ao fato do aumento de massa ocorrido nas peneiras 6, 20 e 30 estar associado a reação de oxidação de compostos de ferro presente no resíduo que acontece aproximadamente a 900°C. Porém no ensaio das outras peneiras foi obtido matéria orgânica mesmo que de valor baixo indicando nestes casos presença da contaminação de óleo. Como no ensaio de perda ao fogo a temperatura é 950°C pode ocasionar ganho de massa em temperaturas elevadas onde a reação de oxidação do minério de ferro ocorre espontaneamente.⁽³⁾

Os valores obtidos durante o ensaio de perda ao fogo foram baixos conforme mostra na Tabela 2, isso se deve ao fato de se ter como elemento majoritário na análise qualitativa de fluorescência de raios-x o elemento ferro e podem estar relacionados ao óleo e contaminantes presentes no resíduo. A caracterização química, no ensaio de fluorescência de raios-x, mesmo que de forma qualitativa evidencia a presença majoritária do elemento ferro, bem como traços de outros elementos que estão na composição do aço além da contaminação no processo de produção da forjaria. O ganho de massa nas peneiras 6, 20 e 30 devem estar relacionados com mudanças de fase dos óxidos de ferro presentes no resíduo. Este detalhamento será avaliado na continuidade do trabalho a partir de análise de difração de raios-x, e análise térmica via TGA e DTA.

Como mostra a figura 3, a granulometria do resíduo carepa, em estudo, é de média a alta, pois apresenta um coeficiente de distribuição de 61,33%, ou seja, maior parte do material ficou retido nas malhas 1,7 mm e 0,6 mm e apresenta um teor de finos extremamente baixo com valor de 0,032%. Cunha et al.⁽⁴⁾ também encontrou valores muito parecidos com os encontrados neste trabalho, onde 60% da massa apresentou granulometria superior a 0,150 mm.

Avaliando as imagens (Figuras 5 e 6), obtidas no MEV observa-se que há bastante variação de tamanho e forma, mas pode-se concluir que a carepa apresenta uma forma mais predominantemente lamelar.

O resultado do EDS (Tabela 4) apresenta a composição química quantitativa das diferentes fases da amostra, analisando-a foi possível constatar que há contaminação por óleo devido principalmente a presença de Carbono e Enxofre no resíduo.

Outro fator observado através da análise da composição química (Tabela 4) foi a presença de sódio. Este pode ser justificado devido ao tratamento sofrido no metal para remoção da carepa. Estes tratamentos, muitas vezes, utilizam compostos orgânicos e/ou inorgânicos responsáveis pela remoção do óxido metálico contendo em sua composição sódio, como por exemplo, ortofosfatos (trifosfato de sódio), hidróxido de sódio, carbonato de sódio, etc.⁽¹⁶⁾

Piovesan,⁽³⁾ em sua avaliação dos parâmetros de briquetes autorredutores contendo carepa e lodo industrial, afirma que a carepa analisada em seu estudo, por ser formada por óxidos de ferro é adequada e pode ser valorizada como fonte de

matéria-prima, desde que seu armazenamento seja isento de umidade e a segregação esteja adequada.

Segundo Lenz et al.⁽²⁾ para confirmar a potencial utilização da carepa em materiais cimentícios, concreto ou argamassa, novos estudos devem ser realizados, pois a contaminação por óleos e graxas da carepa influencia no resultado do emprego deste resíduo.

Bergmann et al.⁽¹⁾ mostrou em seus ensaios que a presença de carepa não provocou alteração significativa dos percentuais dos componentes do cimento. Pode-se dizer que as massas cimentícias com carepa também estão dentro das especificações exigidas para uso. Sendo assim, é possível a reciclagem da carepa a partir de sua aplicação na produção de artefatos de cimento, pois apresentam resistência elevada, adequada a produtos destinados a pavimentos para tráfego leve, estacionamentos e passarelas desde que esteja isenta de óleo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das análises de percentual de umidade, perda ao fogo, distribuição granulométrica e MEV foram obtidos por métodos e normas laboratoriais, sendo o ponto de partida da caracterização do resíduo.

Foi possível observar através da caracterização química que há presença de contaminantes tanto do óleo quanto do processo de limpeza da superfície do metal, devido a presença de material orgânico e inorgânico como sódio.

Através do ensaio de granulometria e MEV foi possível visualizar que a estrutura física do material apresenta partículas de forma irregular e angular dependendo da aplicação será necessário um beneficiamento deste resíduo antes de se tornar um coproduto para a construção civil, por exemplo. Um dos fatores que devem ser considerados é a presença de compostos oxidantes que podem reagir com as matérias primas utilizadas na construção civil acarretando em problemas, como por exemplo, expansibilidade.

Portanto, outros ensaios de caracterização são necessários como: difração de raios-X para identificar as formas mineralógicas do elemento majoritário que é o ferro. É necessário analisar o percentual de óleos e graxas, visto que o resíduo entra em contato com estes contaminantes que são utilizados na própria máquina da forjaria.

Uma análise química quantitativa que determine os óxidos de ferro presentes no resíduo, bem como a matéria orgânica como carbono e oxigênio também seria importante para conhecermos melhor o resíduo em questão. A técnica adequada seria a espectrometria Mössbauer que indica a presença de óxidos de ferro na forma de wustita (FeO), hematita (Fe₂O₃) e magnetita (Fe₃O₄).

Outras técnicas, para dar continuidade na pesquisa, seriam absorção atômica (AT) e plasma por acoplamento indutivo (ACI) para quantificar outros elementos presentes na carepa como manganês e silício.

Portanto é importante realizar uma caracterização mais abrangente para viabilizar a carepa como um coproduto.

Agradecimentos

À Unisinos, ao Itt Fuse e ao LCVMat (Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais), pelo auxílio financeiro e pelos ensaios realizados no laboratório.

REFERÊNCIA

- 1 Bergmann, C. P. et al. Utilização de carepa como agregado para produção de artefatos de cimento. 2004. – ICTR 2004 – Congresso Brasileiro De Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável - Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina
- 2 LENZ, Denise Maria, et al. Avaliação do emprego de carepa de aço como agregado miúdo em concreto. 2011. – Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), 2011.
- 3 PIOVESAN, Lucídio Saul. Avaliação de parâmetros de obtenção de briquetes autorredutores contendo carepa e lodo industrial. 2009. – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), 2009.
- 4 Lei número 12.305, de 2 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- 5 CUNHA, Adriano Ferreira da. et al. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. 2006. (Dissertação) – Universidade Federal de Ribeirão Preto, 2006.
- 6 CHO, Seungyoun, et al. An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. 2007.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação. Rio Janeiro: ABNT, 2004.
- 8 ALMEIDA, Elisandro de. Potencial de utilização do resíduo “carepa de aço” na fabricação de blocos de concreto. 2009. (Dissertação) – Centro universitário Univates, 2009.
- 9 Deuk-Yul Jang, et al. Optimization of process parameters for recycling of mill scale using Taguchi experimental design. 2010. Journal of Mechanical Science and Technology, 2010.
- 10 Al-Otaibi, Saud. Recycling Steel Mill Scale as Fine Aggregate in Cement Mortars. EuroJournals Publishing, Inc. 2008.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) n° 120: Materiais para Fundição – Determinação da Distribuição Granulométrica. São Paulo: ABIFA, 2003.
- 12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) n° 105: Materiais para Fundição – Determinação de Umidade. São Paulo: ABIFA, 2003.
- 13 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) n° 120: Materiais para Fundição – Determinação da Perda ao Fogo. São Paulo: ABIFA, 2003.
- 14 SALVADOR, Vera Lúcia Ribeiro. Introdução a Técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X. Apostila. Shimadzu. 2007.
- 15 VIEIRA, C. C. de Souza, Efeito da incorporação de resíduo de minério de ferro nas propriedades de queima de cerâmica argilosa Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF Campos do Goytacazes Nov. 2006.
- 16 Sparks, John. The Basics of Alkaline In - Process Cleaning for Metal Substrates. Oakite Products, Inc. Berkeley Heights, New Jersey.