Universidade de São Paulo – USP

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC

Programa de Pós-graduação em Hidráulica e Saneamento

JOSÉ ALENCASTRO DE ARAÚJO

**Reciclagem de pó de Forno Elétrico a Arco
para a produção de Aglomerado Pré-fundido (APF) para uso em
processo siderúrgico**

Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

Abril, 2014

JOSÉ ALENCASTRO DE ARAÚJO

**Reciclagem de pó de Forno Elétrico a Arco
para a produção de Aglomerado Pré-fundido (APF) para uso em
processo siderúrgico**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos, da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de doutor em Ciências: Engenharia
Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch

São Carlos

Abril, 2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

A658r

Araújo, José Alencastro

Reciclagem de pó de Forno Elétrico a Arco para a
produção de Aglomerado Pré-fundido (APF) para uso em
processo siderúrgico / José Alencastro Araújo;
orientador Valdir Schalch. São Carlos, 2014.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área
de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2014.

1. Resíduo sólido perigoso. 2. Pó de forno elétrico
a arco. 3. Sinterização. 4. Aglomerado pré-fundido. 5.
Reciclagem. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **JOSÉ ALENCASTRO DE ARAÚJO**.

Título da tese: "Reciclagem de pó de forno elétrico a arco para a produção de aglomerado pré-fundido (APF) para uso em processo siderúrgico".

Data da defesa: 27/05/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Valdir Schalch (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Dr. **José Roberto Ferreira**
(Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios/APTA)

APROVADO

Profa. Dra. **Clauciana Schmidt Bueno de Moraes**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Rio Claro)

Aprovado

Dra. **Lúcia Vidor de Sousa Reis**
(Companhia Ambiental do Estado de São Paulo/CETESB)

Aprovado

Prof. Dr. **Eduardo Antonio Licco**
(Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial/SENAC)

Aprovado

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Profa. Associada **Maria Bernadete A. Varesche Silva**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, José e Jacy, que sacrificaram suas vidas para assegurar a qualidade da minha e a dos meus irmãos.

A minha esposa, Inisilda, pelo amor, carinho e desprendimento sem limites, essenciais para que meu sonho se tornasse possível.

Aos meus filhos, Cesar e Marco, a quem busquei servir de modelo, em honestidade e persistência, inspirado na educação que meus pais me proporcionaram.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa é fruto da dedicação, persistência, entusiasmo e apoio de inúmeros amigos, profissionais e instituições.

Ao Prof. Dr. Valdir Shalch, o meu orientador, pela confiança extremada e incentivo que permearam todos os momentos deste trabalho;

Ao Dr. André Pitasse da Cunha, o meu co-orientador, pela transmissão de conhecimentos técnicos essenciais que permitiram os diversos ajustes de rota necessários para o termo do trabalho;

A ArcelorMittal Piracicaba, em nome dos ex-diretor Delmar Barros Ribeiro pela confiança, suporte financeiro e cessão de diversos profissionais que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Renato Luiz Martins Pinto, da Metalflexi, pelo apoio técnico e operacional nas dezenas e dezenas de testes que possibilitaram identificar e entender os muitos problemas e também os acertos desta pesquisa;

A Sandra Nogueira de Souza, com quem sempre pude contar em todas as etapas deste trabalho;

A Daniella Cristina Batista, pelo apoio logístico para execução das análises nos diversos laboratórios exigidos nesta pesquisa;

Ao Nilton Luis da Cunha, pelo enorme apoio nas análises iniciais para os ajustes de todos os experimentos no laboratório químico da ArcelorMittal;

Ao José Márcio Garcia de Campos, pelo apoio técnico e discussões sobre o processo siderúrgico;

Ao Gustavo Savordelli, estagiário da ArcelorMittal em 2012, aluno de Engenharia Ambiental da escola de Engenharia de Piracicaba e que muito colaborou nos experimentos da primeira fase desta pesquisa;

Ao José Raimundo Lemos, que assegurou, durante sua gestão na Engenharia de Manutenção da ArcelorMittal, a oportunidade para que eu pudesse participar do Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos;

Ao Valdeci Pereira da Costa, da Recicla, pelo suporte dado nos testes com o APF no alto-forno da CSI Siderúrgica;

A M.Sc. Juliana Livi Antoniassi, pesquisadora do Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da USP, pelo apoio em todas as análises executadas pelo Laboratório;

A M.Sc. Liz Zanchetta D'Agostino, pesquisadora do Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da USP, pelas discussões técnicas das análises efetuadas por este Laboratório;

A Prof. Dra. Maria Manuela Lé Tassianari, pesquisadora do Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da USP, pela aula sobre identificação de fases por difratometria de raios X;

Ao Prof. Dr. Geraldo Magela, da Universidade Federal de Ouro Preto, pelas contribuições a este trabalho;

A M.Sc. Fernanda de Matos Ferraz da Escola de Engenharia de São Carlos, pelas relevantes informações técnicas durante o curso.

Aos Profs. Drs. Aldo Roberto Ometto, Eduardo Mário Menciondo, Marcelo Pereira de Souza, Tadeu Malheiros e Wiclef D. Marra Jr. pelos conhecimentos transmitidos em suas respectivas disciplinas e que muito contribuíram tanto neste trabalho como na minha formação acadêmica.

Ao Eng. Laudo J.L. Bernardes, pelo incentivo e empenho para a minha participação deste Programa de Pós Graduação.

EPÍGRAFE

“Os resultados de minha experiência foram escassos. Algumas vezes o alimento não aparecia e eu já me preparava para rejubilar-me com esta prova, mas então ele voltaria a aparecer; era exatamente como se primeiramente minha exibição estranha houvesse causado alguma confusão, mais tarde, porém ela provava possuir vantagens e assim em meu caso os latidos e pulos habituais pudessem ser dispensados. Realmente e quase sempre o alimento aparecia numa abundância maior que anteriormente, mas então mais uma vez ele desaparecia por completo. Com uma perseverança até então ignorada num jovem cão, eu formulava relatórios exatos sobre todas minhas experiências e imaginava farejar daqui e dali o rastro que me levaria mais longe...”

Franz Kafka

RESUMO

ARAÚJO, J. A. **Reciclagem de pó de forno elétrico a arco para a produção de Aglomerado Pré-Fundido (APF) para uso em processo siderúrgico.** 2013.145 f. Tese (Doutorado) – Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

O pó de forno elétrico a arco (FEA) é gerado durante a fusão de sucata ferrosa nos fornos elétricos a arco e coletado predominantemente através de filtros de mangas. Esta substância é listada como resíduo sólido perigoso de fonte específica, K061, conforme a Norma ABNT NBR 10004:2004. As maiores empresas siderúrgicas semi-integradas do mundo têm adotado para o tratamento de pó de FEA, fundamentalmente três rotas: a recuperação de zinco e chumbo, através de dois processos complementares, um piro-metalúrgico, o *Waelz kiln* e outro hidro-metalúrgico, o processo de dupla lixiviação Óxido de *Waelz*; a inertização através da blendagem com a cal, aditivos e água, de forma a alcançar o pH da mistura > 11 , o que garante que metais pesados como o chumbo, cádmio e o zinco, presentes no pó de forno elétrico, não possam se tornar solúveis, evitando consequentemente, a sua lixiviação e a disposição em aterros industriais de resíduos sólidos perigosos. Sob a perspectiva da sustentabilidade, deve ser considerada a rota da recuperação de zinco e chumbo, que para ser viável necessita reunir a geração de pó de FEA de varias plantas, o que para um país com dimensões continentais pode ser um fator de insucesso. Esse trabalho trata da reciclagem do pó de FEA através do processo de sinterização de um composto constituído de pó de FEA aglomerado com coque, carepa e fluorita cerâmica em pelotas, aplicável a uma planta unitária. Como resultado deste processo foram obtidos dois coprodutos, o aglomerado pré-fundido, APF, com teor de óxido de ferro superior a 70%, objeto do processo de sinterização e o concentrado de zinco, com teor de óxido de zinco maior que 50%, resultante da volatilização deste metal durante o processo de sinterização e coletado através de filtro de mangas. Complementarmente foi extraído aproximadamente 90% dos óxidos de chumbo e cádmio contidos no pó de FEA inicial. A produção do APF ocorreu em escala experimental dividida em três fases, a primeira fase foi efetuada com oito formulações distintas e comprovou através de análises químicas de espectrometria por fluorescência de raios X e difratometria de raios

X, a viabilidade técnica da utilização somente de resíduos sólidos industriais para fabricação do APF. A segunda fase, também com oito formulações, definidas conforme planejamento de experimentos com delineamento fatorial, teve como objetivo identificar os principais efeitos das interações entre os componentes do APF, para obtenção da mistura com formulação ótima. A terceira fase testou a intensidade das variáveis, coque e fluorita cerâmica, para a extração do zinco. As duas primeiras fases dos testes de produção em escala experimental foram realizadas em uma planta piloto de sinterização de fluxo descendente e a terceira fase em uma planta piloto de fluxo ascendente, ambas instaladas na usina ArcelorMittal Piracicaba. O APF, com a formulação ótima, foi produzido em escala industrial na planta de sinterização Metalflexi, também instalada na usina ArcelorMittal Piracicaba, e testado em alto-forno de pequeno porte. O concentrado de zinco foi caracterizado quimicamente para se avaliar o uso em segmentos industriais que utilizem este elemento.

Palavras-chave: Resíduo sólido perigoso, pó de forno elétrico a arco, sinterização, aglomerado pré-fundido, reciclagem.

ABSTRACT

ARAÚJO, J. A. **Recycling of electric arc furnace dust for the production of Agglomerated Pre-Cast Agglomerated (PCA) for use in steel making process.** 2013. 220 f. Tese (Doutorado) – Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

The electric arc furnace (EAF) dust is generated during melting of steel scrap in electric arc furnaces and collected mainly through bag filters. The EAF dust is listed as hazardous waste from specific source, K061, according to ABNT 10004:2004. The major semi-integrated steel companies in the world have adopted for the treatment of EAF dust, basically three routes: the recovery of zinc and lead, through two complementary processes, a pyro-metallurgy, Waelz kiln and other hydro-metallurgical the leaching process of double oxide Waelz; the blanketing by blending with lime, water and additives in order to achieve the pH of the mixture > 11, which ensures that heavy metals like lead, cadmium and zinc, present in furnace residue, can not become soluble, thereby avoiding the leaching and disposal in landfills of hazardous waste.

This work suggests recycling of the EAF dust by sintering of a composite consisting of EAF dust agglomerate to coke particles (carbon source), mill scale (iron source) and ceramic fluorite (adictive agent used like fluxant) into pellets, a process known as sintering. As a result of the process is expected to obtain two by-products, the pre-cast agglomerated, PCA, with iron oxide content exceeding 70%, object of the process of sintering and zinc dust, containing more than 50% zinc oxide resulting from volatilization of this metal during the sintering process and collected by bag filter. Addition is expected to extract approximately 90% of lead and cadmium oxide contained in the initial EAF dust.

The production of the PCA occurred in experimental scale divided into three stages, the first stage was performed with eight different formulations and checked by chemical analysis by X-ray fluorescence spectrometer and X-ray diffraction, the technical viability of using only solid waste industrial manufacturing PCA. The second phase, also with eight formulations, defined as planning experiments with factorial design, was tested the main effects and the double and triple interactions between the components of the PCA, to obtain the optimal formulation. The third phase was checked the intensity of the variables, coke fluorite ceramics, for removing zinc of PCA. The first two stages of the production tests were carried out on a pilot scale in a pilot plant sintering downstream and the third phase in a pilot plant

upstream, both installed in the plant ArcelorMittal Piracicaba. The PCA, with the optimal formulation was produced on an industrial scale in the sinter plant Metaflexi also installed at the plant ArcelorMittal Piracicaba, and tested in small blast furnace. The zinc dust was characterized chemically for application in industries that use this element.

Keywords: Hazardous waste, electric arc furnace dust, sintering, pre-cast agglomerated, recycling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo de geração e reciclagem de materiais ferrosos	36
Figura 2 - Conceitos de fornos de soleira múltipla (esquerda) e soleira rotativa (direita)	47
Figura 3 - Forno a arco para produção de ferro.....	48
Figura 4 - Forno Waelz da Votorantim Metais com 70 m de comprimento e 4,5 m de diâmetro	49
Figura 5 - Atmosfera redutora, carga sólida, e oxidante, voláteis produzidos no processo e reoxidados.....	50
Figura 6 - Processo Ausmelt, baseado na injeção de ar, oxigênio e combustível diretamente na escória fundida via lança submersa.....	51
Figura 7 - Produção brasileira de zinco primário com ritmo de crescimento de 4% ao ano....	53
Figura 8 - Demanda brasileira por zinco considerando três cenários de crescimento.....	53
Figura 9 – Fluxograma do experimento para fabricação de APF.....	60
Figura 10 – Planta piloto de sinterização de fluxo descendente da Metalflexi	62
Figura 11 - Planta de sinterização Metalflexi	63
Figura 12 - Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV acoplado a sistema de micro análise por MEV - EDS/WDS	64
Figura 13 - Casa de filtros do sistema de despoeiramento do forno elétrico.....	67
Figura 14 - Big-bags para armazenamento de pó de forno elétrico	67
Figura 15 – Alto forno CSI.....	79
Figura 16 - Difratoograma de raios – X do pó de forno elétrico.....	82
Figura 17 – Identificação de fases do pó de forno elétrico	83
Figura 18 - Difratoograma de raios – X do pó de forno elétrico UFOP	84
Figura 19 - Espectroscopia Mossbauer do pó de forno elétrico	84
Figura 20 - Difratoograma de raios – X do pó de forno panela	88
Figura 21 - Fases identificadas no pó de forno panela	88
Figura 22 - Difratoograma de raios – X da fluorita cerâmica	90
Figura 23 - Fases identificadas da fluorita cerâmica.....	91
Figura 24 - Difratoograma de raios – X da carepa.....	92
Figura 25 - Fases identificadas da carepa.....	93

Figura 26 - Difratoograma de raios – X do coque verde de petróleo.....	94
Figura 27 - Difratoograma de raios – X do experimento 2 APF.....	108
Figura 28 - Quantificação das fases do experimento 2.....	108
Figura 29 - Amostra de APF pronta para análise no MEV.....	109
Figura 30 - Diferentes tons de cinza da amostra do APF 1.....	110
Figura 31 – Diagrama terciário do sistema $\text{CaF}_2\text{-CaO-SiO}_2$	115
Figura 32 - Planta piloto de sinterização de fluxo ascendente.....	116
Figura 33 - Dispositivo de exaustão com manga filtrante	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração e consumo de sucata na siderurgia brasileira	37
Tabela 2 - Metodologias utilizadas na pesquisa.....	66
Tabela 3 – Relação C fixo/Fe total das misturas.....	69
Tabela 4 – Composição das misturas 1, 2 e 3	70
Tabela 5 – Composição das misturas 4, 5 e 6	70
Tabela 6 – Composição das misturas 7 e 8	71
Tabela 7 – Tempo de sinterização por perda de carga e temperatura	72
Tabela 8 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 1	73
Tabela 9 – Relação dos parâmetros dos experimentos – primeira fase.....	74
Tabela 10 - Planejamento de experimentos com delineamento fatorial.....	74
Tabela 11 - Relação dos parâmetros dos experimentos - segunda fase.....	75
Tabela 12 - Planejamento de experimentos - terceira fase.....	76
Tabela 13 - Relação dos parâmetros dos experimentos - terceira fase.....	77
Tabela 14 - Características do alto forno da CSI.....	79
Tabela 15 - Identificação das fases cristalinas do pó de forno elétrico	82
Tabela 16- Análise química do pó de forno elétrico	85
Tabela 17 – Temperaturas de fusão e ebulição do zinco, chumbo e álcalis.....	87
Tabela 18 - Identificação das fases cristalinas do pó de forno panela	87
Tabela 19 - Análise química do pó de forno panela.....	89
Tabela 20 - Identificação das fases cristalinas da fluorita cerâmica	90
Tabela 21 – Análise química da fluorita cerâmica	91
Tabela 22 – Identificação das fases cristalinas da carepa	92
Tabela 23 – Análise química da carepa.....	93
Tabela 24 – Análise química do coque verde de petróleo.....	95
Tabela 25 – Identificação das fases mineralógicas das misturas.....	96
Tabela 26 – Análise química (EFX) das misturas dos experimentos.....	97
Tabela 27 – Identificação e quantificação de fases dos APF's	98
Tabela 28 – Análise química (EFX) dos APF's dos experimentos.....	99
Tabela 29 – Análise do extrato lixiviado dos APF's dos experimentos.....	100

Tabela 30 - Sumário da primeira fase - parâmetros ferro e zinco no APF.....	101
Tabela 31 - Planejamento de experimentos - segunda fase.....	102
Tabela 32 - Identificação das fases mineralógicas das misturas.....	103
Tabela 33 - Análise química (EFX) das misturas - parâmetros de interesse.....	104
Tabela 34 - Análise do extrato lixiviado das misturas dos experimentos.....	105
Tabela 35 – Identificação das fases mineralógicas dos APF's.....	106
Tabela 36 - Análise química (EFX) dos APF's - parâmetros de interesse.....	107
Tabela 37 - Sumário da segunda fase - parâmetros ferro e zinco no APF.....	107
Tabela 38 – Estrutura típica do APF conforme MEV.....	110
Tabela 39 - Análise do extrato lixiviado dos APF's.....	111
Tabela 40 - Análise química (EFX) do Aglomerado Pré-fundido (APF) da terceira fase.....	112
Tabela 41 - Análise química (EFX) da mistura e do aglomerado pré-fundido (APF) da terceira fase, experimento 1, conforme o LCT da USP.....	113
Tabela 42 - Análise química (EFX) do concentrado de zinco da terceira fase.....	114
Tabela 43 – Análise química (EFX) das misturas – parâmetros de interesse.....	117
Tabela 44 - Análise química (EFX) dos APF's - parâmetros de interesse.....	118
Tabela 45 – Análise química do concentrado de Zinco – parâmetros de interesse	119

LISTA DE SIGLAS

APF – Aglomerado Pré-Fundido
BOF – Oxigênio Básico
BSD – Detector de Elétrons Retroespalhados
CCDM – Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais
CGEE – Centro de Gestão de Estudos estratégicos
CSI – Companhia Siderúrgica Irineu
DRI – Ferro Diretamente Reduzido
DRX – Difratorômetro de Raios X
EDS – Detector de Dispersão de Energia
FEA – Forno Elétrico a Arco
FOB – *Free on board*
FP – Forno Panela
FRX – Fluorescência de Raios X
GCO – Gás de Coqueria
HBI – Ferro Briquetado a Quente
IABr – Instituto Aço Brasil
IBS – Instituto Brasileiro do Aço
ICDD – International Centre for Diffraction Data
IEF – Instituto estadual de Florestas
IISI – International Iron and Steel Institute
LCT – Laboratório de Caracterização Tecnológica
LD – Linz Donawitz
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
MHF – Forno de Soleira Múltipla
MME - Ministério das Minas e Energia
PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database
RHF – Forno de Soleira Rotativa
UFOP – Universidade federal de Ouro Preto
UFSCar – Universidade federal de São Carlos

USP – Universidade de São Paulo

WDS – Detector de Dispersão em Comprimento de Onda

LISTA DE SIMBOLOS

°C - graus Celsius

mm – milímetro

mmHg – milímetro de mercúrio

t – tonelada

Mt – um milhão de toneladas

Kg – quilograma

a.C – antes de Cristo

s – sólido

g – gás

l – líquido

g – gramas

cm³ – centímetro cúbico

um – micrômetro

pH – potencial hidrogeniônico

h – hora

mmca – milímetro coluna d'água

m² – metro quadrado

m³ – metro cúbico

SUMÁRIO

RESUMO	ix
1 INTRODUÇÃO	244
1.1 Justificativas	255
2 OBJETIVOS	288
2.1 Objetivo geral	288
2.2 Objetivos específicos	288
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
3.1 O setor siderúrgico.....	30
3.1.1 O mercado mundial do aço.....	34
3.1.2 Altos-fornos de pequeno porte.....	34
3.1.3 Reciclagem	35
3.1.4 A siderurgia brasileira	39
3.2 Resíduos siderúrgicos	40
3.3 Coprodutos	41
3.4 Pó de forno elétrico a arco.....	422
3.4.1 Alternativas para reciclar pó de forno elétrico a arco	45
3.4.1.1 O processo <i>PRIMUS</i> ®.....	46
3.4.1.2 O processo Waelz.....	48
3.4.1.3 O processo Ausmelt	50
3.5 O zinco.....	52
3.6 Metalurgia do pó	53
3.6.1 O processo de sinterização	54
3.6.1.1 Minério de ferro	55
3.6.1.2 Redutor.....	55
3.6.1.3 Ligantes.....	55
3.6.1.4 Fundentes e fluxantes	56
3.6.1.5 Mistura e homogeneização	56
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
4.1 Matérias primas e fluxo de produção.....	58

4.2 Descrição da planta piloto de sinterização.....	61
4.3 Descrição da planta de sinterização Metalflexi.....	62
4.4 Métodos utilizados.....	63
4.5 Fabricação experimental do APF.....	66
4.5.1 Caracterização dos materiais.....	68
4.5.2 Formulação das misturas.....	69
4.5.3 Produção do aglomerado pré- fundido (APF) em escala experimental.....	71
4.5.3.1 Produção do aglomerado pré- fundido (APF) em escala experimental - primeira fase.....	71
4.5.3.2 Produção de aglomerado pré-fundido (APF) em escala experimental - segunda fase..	74
4.5.3.3 Produção de aglomerado pré-fundido (APF) em escala experimental - terceira fase...	75
4.6 Produção do aglomerado pré- fundido (APF) em escala industrial.....	77
4.7 Testes industriais no alto forno.....	78
4.7.1 Características do alto forno da CSI.....	79
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
5.1 Pó de forno elétrico a arco.....	81
5.1.1 Resultados da análise química.....	85
5.2 Pó de forno panela	87
5.2.1 Resultados da análise química.....	89
5.3 Fluorita cerâmica.....	89
5.3.1 Resultados da análise química.....	91
5.4 Carepa	92
5.4.1 Resultados da análise química.....	93
5.5 Coque verde de petróleo.....	94
5.5.1 Resultados da análise química.....	95
5.6 Primeira fase dos experimentos - Misturas.....	96
5.6.1 Resultados das análises químicas das misturas	96
5.7 Primeira fase dos experimentos - Aglomerado pré-fundido (APF).....	97
5.7.1 Resultados das análises químicas dos APF's	99
5.7.2 Resultados das análises do extrato lixiviado dos APF's	100
5.8 Planejamento dos experimentos - segunda fase.....	101
5.8.1 Segunda fase dos experimentos - Misturas DRX e FRX.....	103
5.8.2 Resultados das análises do extrato lixiviado das misturas	104

5.8.3 Segunda fase dos experimentos - APF's DRX e FRX.....	105
5.8.3.1 Análises de APF em Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV.....	109
5.8.4 Resultado das análises do extrato lixiviado dos APF's.....	111
5.9 Planejamentos dos experimentos - terceira fase.....	111
5.9.1 Sistema de queima para os experimentos da terceira fase.....	115
5.9.2 Terceira fase dos experimentos Misturas e APF's.....	116
6 CONCLUSÕES.....	120
6.1 RECOMENDAÇÕES.....	121
REFERÊNCIAS.....	123
APÊNDICES.....	131
Apêndice A - Mapa de Processos.....	131
Apêndice B – Detalhes da planta piloto de sinterização - fluxo escendente.....	132
Apêndice C – Aplicação de fluorita cerâmica na siderurgia	137
Apêndice D – Detalhamento dos processos de quarteamento e homogeneização	138
Apêndice E – Dados da produção experimental do Aglomerado pré- fundido (APF) - primeira fase	142
Apêndice F – Planejamento de experimentos	158
Apêndice G – Dados da produção experimental do Aglomerado pré- fundido (APF) - segunda fase.....	159
Apêndice H – Detalhes da planta piloto de sinterização - fluxo ascendente.....	177
Apêndice I – Dados da produção experimental do Aglomerado pré- fundido (APF) - terceira fase.....	180
ANEXOS	183
Anexo A – Exemplos de usinas de tratamento de resíduos da <i>Paul Wurt</i>	183
Anexo B – CCDM Análise granulométrica em amostras cerâmicas.....	188
Anexo C – Análise por DRX das misturas e APF's da primeira fase.....	195
Anexo D – Análise por FRX das misturas e APF's da primeira fase.....	227
Anexo E – Análise do extrato lixiviado e APF's da primeira fase.....	229
Anexo F – Análise por DRX das misturas e APF's da segunda fase.....	246
Anexo G – Análise por FRX das misturas e APF's da segunda fase.....	274
Anexo H – Análise do extrato lixiviado e APF's da segunda fase.....	277
Anexo I – Análise por FRX das misturas da terceira fase.....	290
Anexo J – Análise por FRX dos APF's da terceira fase.....	291

Anexo K – Análise por FRX do concentrado de zinco da terceira fase.....	292
Anexo L - Análise por FRX da amostra inicial da terceira fase.....	293

1 INTRODUÇÃO

Existem duas rotas tecnológicas predominantes na indústria siderúrgica mundial para produção de aço, as usinas integradas a coque e as semi-integradas. Nas usinas integradas, as áreas de transformação do minério de ferro e do aço estão presentes em uma única unidade industrial. Uma usina integrada é composta de três etapas, redução no alto-forno para produção de ferro gusa a partir de minério de ferro ou seus produtos (sínter e pelota), mais coque e fundentes; refino na aciaria, onde o ferro gusa é convertido em aço, e transformação mecânica na laminação, onde o aço é colocado na forma de produtos planos e longos para comercialização no mercado. Redução é o processo de remoção do oxigênio do ferro para se ligar ao carbono.

As usinas semi-integradas não possuem a etapa de redução, o processo tem início na aciaria com a utilização, principalmente, de sucata ferrosa e, em menor quantidade, de ferro-gusa e pré-reduzidos como DRI, *direct reduced iron* e HDI, *hot briquetted iron*. Por ser um processo compacto, as usinas semi-integradas são conhecidas por *minimills* (CGEE, 2010).

Na produção de aço, grandes quantidades de materiais são consumidos, mas apenas parte é incorporado ao produto final. Nas usinas integradas, para cada tonelada de aço bruto produzido são necessários 2,40 toneladas de minério de ferro e outros insumos. Para as aciarias elétricas, a fabricação de uma tonelada de aço requer 1,10 tonelada entre sucata ferrosa, gusa e outros metálicos (MME, 2009).

A geração de resíduos ocorre durante todas as fases do processo: na preparação da matéria-prima, manufatura do produto, manutenção e reforma de construções, nas atividades de desmontagem e demolição. Não se trata apenas de desperdício de recursos, mas também de um custo adicional e um potencial impacto ambiental adverso se estes resíduos não tiverem destinação ambientalmente adequada.

A quantidade de resíduos gerada em uma planta siderúrgica depende diretamente da qualidade do material que é processado e do processo empregado. Por exemplo, para uma usina semi-integrada, a etapa fundamental é a preparação da matéria-prima, pois, quanto mais limpa for a sucata ferrosa carregada no forno elétrico, isto é, quanto mais isenta de contaminação, como terra, plásticos, borrachas, espumas e mesmo metais não-ferrosos, menor será a geração de escória e de pó de forno elétrico. É claro que terá sido gerado outro resíduo, aquele resultante da limpeza da matéria-prima, mas aí teremos um resíduo de menor complexidade e menor volume.

A média mundial de geração de resíduos sólidos numa usina siderúrgica integrada é de 420 kg/t de aço bruto (ÇAMCI; AYDIM; ARLAN, 2002). Para uma produção mundial de 1.343,5 Mt de aço bruto em 2007, a geração de resíduos sólidos foi de 564,0 Mt. No Brasil, com produção de 33,8 Mt de aço bruto em 2007, a geração de resíduos sólidos chegou a 14,1 Mt. Destes, cerca de 10% são portadores de ferro (REIS, 2008). Em 2009, para cada tonelada de aço bruto produzido, foram gerados 640 quilos de resíduos e coprodutos, quantidade ligeiramente menor do que a do ano anterior (IABr, 2010).

Estes valores abrangem os resíduos produzidos diretamente nos processos, como as escórias, a carepa, e outros provenientes dos sistemas de controle de poluição hídrica ou atmosférica, como as lamas de alto-forno e de aciaria e os pós coletados nos equipamentos de despoeiramento, como filtros de mangas e precipitadores eletrostáticos.

O pó de forno elétrico arco (FEA) é um resíduo coletado no sistema de despoeiramento e se constitui no maior problema para os produtores de aço devido aos seguintes fatores:

- É classificado pela Norma ABNT NBR 10004:2004 como resíduo perigoso de fonte específica, K 061. No ensaio de lixiviação, Norma ABNT NBR 10005:2004, os elementos chumbo e cádmio se apresentam acima do valor máximo permissível;
- A geração se situa na faixa de 14 a 20 kg. t⁻¹ de aço produzido;
- A destinação do pó de FEA para aterro industrial classe 1, tem custos de R\$ 250,00 t⁻¹, entre disposição e transporte, além de ser uma solução que é finita e insustentável, insere uma responsabilidade ambiental persistente e perigosa;
- Os aterros industriais estão cada vez mais escassos e afastados das empresas geradoras, além dos custos com transporte especializado já citado, há uma tendência para que resíduos perigosos sem pré-tratamento tenham sua disposição proibida;
- As soluções para o tratamento desse resíduo têm duas características fundamentais, são complexas e caras.

1.1 Justificativas

Existem diversos fatores que conduzem a reciclagem do pó de FEA, buscando recuperar as parcelas de ferro, zinco e chumbo contidas neste material, como:

- Crescimento da produção mundial de aço em taxas superiores a 7%, pressionando as fontes de recursos minerais;
- A tendência das *minimills* como rota tecnológica predominante para fabricação de aço através da reciclagem da sucata ferrosa, criando um mercado altamente competitivo para a compra da sucata ferrosa. Estes fornos vêm progressivamente expandindo sua atuação e subtraindo os mercados de antigos processos siderúrgicos em todo o mundo (MME, 2009). Em 2009, 25% da produção mundial de 1,2 milhão de toneladas de aço foi realizada em forno elétrico a arco com base em sucata (IABr, 2011);
- Tendência de aumento de finos nas lavras de minérios de ferro e o crescente uso de gusa líquido nos fornos elétrico a arco, demandando mais minério de ferro. As hematitas (Fe_2O_3) estão em processo de exaustão nas reservas conhecidas do Quadrilátero Ferrífero e, por conseguinte, haverá escassez de granulado, em futuro não muito distante (CGEE, 2010);
- A presença crescente de zinco na composição do pó de forno elétrico, devido à expansão dos processos de galvanização dos aços. A participação do consumo de galvanizados no total de laminados planos ao carbono, de apenas 5% há 15 anos, em 2008 avançou para 17% (MME, 2009);
- Alto valor comercial do zinco, US\$ 1.300,00 t^{-1} (MME, 2009) essencialmente obtido a partir de minérios extraídos da natureza e praticamente ausente nos solos brasileiros. Em muitos países, Turquia, por exemplo, o pó de forno elétrico é usado como substituto do minério de Zn necessário para a galvanização do aço, evitando, assim, que seja realizada a importação desse minério (BEST & PICKLES, 2000).
- Os princípios VI e XII da Política Estadual de Resíduos Sólidos:
 - Minimização dos resíduos por meio de incentivos às práticas ambientalmente adequadas de reutilização, reciclagem, redução e recuperação (BRASIL, 2006).
 - O reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico, gerador de trabalho e renda (BRASIL, 2006).
- O princípio XIV da Política Nacional de Resíduos Sólidos:
 - Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

Outro aspecto fundamental diz respeito à sustentabilidade da indústria siderúrgica, a mesma energia elétrica, matéria prima e insumos que produzem o aço produzem também os resíduos. Encontrar soluções técnicas, econômicas e ambientalmente adequadas para a reciclagem destes materiais, seja considerando o processo interno ou outro ciclo produtivo vem se tornando uma questão essencial no planejamento estratégico das empresas, tanto ao se analisar a redução de perdas como pelo potencial de receita que estes materiais podem conter.

2 OBJETIVOS

Considerando que o pó de forno elétrico é o resíduo mais problemático para as usinas siderúrgicas semi-integradas e que as soluções mais utilizadas:

- O *Waelz kiln*: é de alto custo e requer escala elevada de geração de pó (50 000 t/ano) com teor médio de 15% de zinco para ser viável, o que pressupõe instalação que receba pó de forno elétrico de diversas usinas siderúrgicas, com as longínquas distâncias geográficas do Brasil;
- A destinação para aterros industriais de resíduos perigosos: é de alto custo (R\$ 250,00 t⁻¹) e o rigor crescente da legislação impondo ameaças de proibição para disposição de determinados resíduos;

2.1 Objetivo geral

Propor e avaliar alternativa de reciclagem do pó de FEA aplicável à operação unitária, visando a possibilidade de ser replicado para outras usinas siderúrgicas.

2.2 Objetivos específicos

- Reciclar o pó de FEA para a produção do aglomerado pré-fundido (APF);
- Reduzir custos com a disposição final do pó de forno elétrico em aterros industriais de resíduos perigosos;
- Obter ganhos de ferro total com o uso do APF para substituir parcialmente o minério de ferro em altos fornos de pequeno porte;
- Extrair do pó de FEA os constituintes perigosos para permitir a reclassificação de resíduo perigoso, classe I, para resíduo não perigoso não inerte, classe II A.

Para atender estes objetivos esta tese foi dividida em quatro seções, na seção 3 foi efetuada uma revisão bibliográfica que proporciona uma visão abrangente da siderurgia brasileira e dos resíduos do processo siderúrgico com foco no pó de FEA e nos processos de tratamento. Na seção 4 foram estabelecidas as metodologias de análise dos materiais utilizados nos experimentos, dos processos de fabricação e das análises dos produtos destes

experimentos. Na seção 5 foram discutidos os resultados dos experimentos em suas três fases e, finalmente, na seção 6 estão apresentadas as conclusões e recomendações.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção proporciona uma visão abrangente do setor siderúrgico, apresenta as principais etapas da fabricação do aço, traça um panorama do mercado mundial e aponta a reciclagem do aço como fator diferencial nos aspectos ambiental e econômico frente ao uso do minério de ferro. Na sequência, traça um panorama da siderurgia brasileira e a geração de resíduos do processo siderúrgico, ressaltando o pó de forno elétrico, com suas características, formas de tratamento e as principais tecnologias aplicadas em plantas operando em escala industrial. Também é feita citação sobre a metalurgia do pó e a sinterização como alternativa capaz de trazer soluções atraentes economicamente e aplicáveis aos resíduos siderúrgicos, em particular ao pó de forno elétrico.

3.1 O setor siderúrgico

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida a partir da Revolução Industrial, em 1760 na Inglaterra, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como também lhes adicionar propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto e à corrosão. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo, o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais e ligas metálicas consumidos pela civilização industrial (ARAÚJO, 1997).

O ferro é um metal encontrado em toda crosta terrestre, com aproximadamente 5% em massa, inferior apenas ao alumínio, 8,1%. O ferro pode ocorrer sob forma de óxidos, carbonatos e sulfetos. Como óxido ele pode aparecer nas formas mineralógicas de magnetita, hematita e limonita. A magnetita, Fe_3O_4 , 45 a 70% de ferro, é um óxido duplo composto de wustita, FeO e da hematita, Fe_2O_3 . A hematita possui 50 a 70% de ferro e a limonita, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$, possui 20 a 60% de ferro. Na forma de carbonato, FeCO_3 , ocorre a siderita com 30 a 45% de ferro e finalmente como sulfeto, FeS , a pirita, cuja extração para obtenção de aço não é viável devido a presença de enxofre que é prejudicial ao aço (ROMEIRO, 1997).

O carbono é também relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas. Na siderurgia, as fontes de carbono mais utilizadas são:

- Carvão mineral: extraído de minas subterrâneas, é processado na coqueria, que produz o coque metalúrgico;

- Carvão vegetal: obtido através da carbonização de madeira;
- Coque de petróleo: coque verde produzido no refino do petróleo, calcinado para utilização nas aciarias.

Em usinas integradas, dentro de um equipamento chamado alto-forno, o carvão exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas, cerca de 1.500° C, necessárias à fusão do minério de ferro. Como redutor, se associa ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. (ARAÚJO, 1997).

Antes de serem levados ao alto-forno, o minério e o carvão são previamente preparados para melhoria do rendimento e economia do processo. O minério é transformado em pelotas, ou sinter, e o carvão é coqueificado, para obtenção do coque, dele se obtendo ainda subprodutos carboquímicos, como o gás de coqueria (GCO), utilizado, entre outros fins, para aquecimento da própria bateria de fornos.

As usinas de aço do mundo inteiro segundo o seu processo produtivo, conforme já citado, classificam-se em integradas e semi-integradas (*Minimills*). Existem, ainda, unidades produtoras chamadas de não-integradas, que operam apenas uma fase do processo: redução ou laminação. No primeiro caso, estão os produtores de ferro gusa, os chamados guseiros, que têm como característica comum o emprego de carvão vegetal em altos fornos para redução do minério. No segundo, estão os relaminadores, geralmente de placas e tarugos, adquiridos de usinas integradas ou semi-integradas e os que relaminam material sucateado. Ainda operam no mercado produtor mundial, unidades de pequeno porte que se dedicam exclusivamente a produzir aço para fundições.

O aço, basicamente, é uma liga de ferro e carbono, com teor de carbono de 0,002% a 2,0% (ARAÚJO, 1997). Existem evidências de produção de ferro anterior a 1600 a.C. e que houve produção de aço em pequena escala por volta do século IV d.C. Entretanto, foi somente na metade do século XIX que Henry Bessemer desenvolveu o primeiro processo econômico para produção de aço em grande escala. A tecnologia dominante para a fabricação de aço, atualmente, é a que utiliza oxigênio básico (BOF), um aperfeiçoamento de uma descoberta de Bessemer e desenvolvida na América nos anos 1950. O forno elétrico a arco foi inventado em 1881.

A primeira etapa para a produção do aço é iniciada no alto-forno, onde o minério de ferro se funde formando um metal líquido chamado de ferro gusa. O minério geralmente

utilizado é a hematita e sua ganga é constituída basicamente de sílica, SiO_2 . Além do minério são introduzidos na carga o calcário, CaCO_3 , o carvão mineral ou vegetal e ar quente.

O carvão vai reduzir o minério e produzir energia, o calcário servirá como fundente. Os fundentes são materiais que dissolvem a ganga/escória e permitem que o processo seja viabilizado a menor temperatura. A queima do carvão ativado pela entrada de ar quente fornece calor e monóxido de carbono, CO , conforme a equação 3.1, a seguir:

O monóxido de carbono vai reduzir o ferro presente na hematita para ferro metálico com a formação de CO_2 , conforme as seguintes equações (MOURÃO et al, 2007):

A parte líquida não metálica, que também é formada neste processo de redução, é chamada de escória, impurezas que contém óxidos CaO , SiO_2 , P_2O_5 , MgO , etc. O ferro gusa contém em torno de 4 % de carbono sob forma de cementita, Fe_3C .

A segunda etapa do processo é o refino. O ferro gusa é levado para a aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, através da queima de carbono e posterior adições de ligas. O refino do aço se faz basicamente por duas rotas, o processo a oxigênio em conversores Linz Donawitz (LD) ou por fornos elétricos a arco.

O aço comum, conforme já citado, é uma liga de ferro carbono, FeC , contendo geralmente de 0,002 a 2% em peso de carbono, além de outros elementos resultantes do processo de fabricação como manganês, 0,3 a 0,6%, silício, 0,1 a 0,3%, fósforo, máximo de 0,04%, enxofre, máximo de 0,05% e ferro.

Nos conversores ocorrem as seguintes reações, conforme Romeiro (1997):

Oxidação das impurezas do ferro, de acordo com as equações 3.5 a 3.7:

Combustão do carbono, conforme as equações 3.8 e 3.9:

Desoxidação do aço com adição de produtos desoxidantes, como o manganês, de acordo com a equação 3.10:

Combustão do fósforo conforme equações 3.11 e 3.12:

Dessulfurização de acordo com a equação 3.13:

A outra rota para produção de aço é o processo via forno elétrico a arco (FEA). Segundo Mourão et al (2007), o aço produzido no FEA oferece diversas vantagens quando se comparam as duas rotas de processo: sob o ponto de vista ambiental, maior quantidade de sucata ferrosa pode ser reciclada em fornos elétricos e a emissão de CO₂ é quatro vezes menor; sob o ponto de vista econômico, o aço poderá ser produzido com menor custo devido aos menores investimentos de instalação e se o preço de energia elétrica for favorável; sob o ponto de vista de sustentabilidade do processo, quantidades elevadas de ferro diretamente reduzido (DRI) ou ferro briquetado a quente (HDI), pode ser consumido no forno elétrico.

A produção de aço no FEA compreende normalmente as seguintes fases de processo: a) carregamento da sucata de ferrosa e dos fundentes (cal, fluorita, etc.), b) fusão da carga metálica promovida pelo intenso calor gerado pelo arco elétrico, c) refino para redução do fósforo, enxofre, carbono, silício e manganês presentes no banho metálico, d) retirada da escória e e) vazamento do aço, quando são iniciadas as operações conhecidas como metalurgia de panela, que podem ocorrer no forno panela, para acerto da composição química do aço, adequação da temperatura, acerto de desoxidação e descarburização do aço (RIZZO, 2006). O processo tem seguimento com a etapa na qual o aço líquido é solidificado, se utilizando uma máquina de lingotamento contínuo, e conformado em tarugos, placas ou lingotes.

Finalmente, a última etapa clássica do processo de fabricação do aço é a laminação, na qual o aço é deformado mecanicamente para a fabricação de produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras, etc.

Com a evolução da tecnologia, as etapas de redução, refino e laminação estão sendo reduzidas no tempo, assegurando maior velocidade na produção (ARAÚJO, 1997).

3.1.1 O Mercado mundial do aço

Anualmente, em torno de 1,3 bilhão de toneladas de aço são produzidos e consumidos, em todo o mundo, desse total 66% é produzido através da rota integrada, alto forno e aciaria LD e 25%, através do processo de forno elétrico a arco (IABr, 2009).

O consumo anual de aço nos países desenvolvidos gira em torno de 471 kg per capita, e a média mundial de consumo gira em torno de 138 kg per capita (IISI, 2009). O fato de a crescente demanda mundial por aço exceder o fornecimento de sucata significa que é necessário continuar produzindo aço do ferro para o futuro próximo. Quando a demanda mundial se estabilizar e os índices de recuperação e reciclagem aumentarem continuamente, é provável que todo o aço seja produzido no forno elétrico a arco, num cenário sustentável, sob o ponto de vista do consumo de recursos naturais não-renováveis (IBS, 2002).

A produção mundial de aço bruto, em 2008, alcançou 1.315 milhões de toneladas e correspondeu, em massa, a mais de 80% de todos os metais produzidos no mundo. Esta marca, que dá a dimensão da importância do aço, superou o volume de 800 milhões de toneladas alcançados em 2000, quando se registrou um recorde histórico (IISI, 2009). A participação do Brasil praticamente se manteve nos últimos três anos, sendo responsável por 2,56% desta produção, como o 9º maior produtor mundial (IABr, 2009), depois de China, Japão, Estados Unidos, Rússia, Coreia do Sul, Índia, Alemanha e Ucrânia.

Na América Latina, de modo geral, observou-se em 2008 um aumento da produção de 6% em relação ao ano anterior. A produção brasileira na América Latina subiu aproximadamente 2%, representando 51,8 % do total da região, seguida da mexicana e da argentina, com 27 % e 6,6 %, respectivamente, o que reforça a posição de liderança do setor brasileiro em mais da metade da produção da América Latina (IABr, 2009).

3.1.2 Altos-fornos de pequeno porte

O alto-forno ainda continua sendo o principal equipamento para produção de ferro primário (ferro-gusa) no mundo, responsável por cerca de 60% do aço produzido mundialmente (IABr, 2013). Os altos-fornos de pequeno porte se caracterizam por possuir volume útil do reator menor que 300 m³.

O Brasil produziu 30,8 milhões de toneladas de ferro gusa em 2010, sendo 5 milhões de toneladas (16,2%) através de altos-fornos de pequeno porte a carvão vegetal em usinas não-integradas, conhecidas como produtoras independentes de gusa – PIG (MME, 2011). Estas usinas possuem características diferenciadas das usinas integradas a coque e carvão vegetal, pois utilizam 100% de minério de ferro granulado e temperatura de sopro limitada a 900°C, isto por causa da utilização de *glendon* para aquecimento do ar injetado. Um alto forno trabalha injetando ar para queimar o carvão (vegetal ou coque) e formar uma mistura gasosa de $\text{CO} + \text{CO}_2$ que promove a redução do minério de ferro carregado. Quanto mais aquecido o ar, melhor o desempenho térmico do alto forno. Então, se usa um *cowper* (altos-fornos de grande porte) ou *glendon* (altos-fornos de pequeno porte) para pré-aquecer o ar. São constituídos basicamente de uma carcaça metálica com interior de refratários. Estes equipamentos funcionam em dois ciclos: no primeiro ciclo, o pré-aquecedor (*cowper* ou *glendon*) frio recebe os gases quentes que saem da goela do alto forno, elevando a temperatura do refratário interno. No ciclo seguinte, quando o refratário está suficientemente aquecido, o ar frio é direcionado pelo pré-aquecedor antes de ser injetado no alto forno. Normalmente se têm dois ou três pré-aquecedores, funcionando em ciclos alternados.

3.1.3 Reciclagem

A indústria siderúrgica mundial e a brasileira se encontram alicerçadas no uso da sucata como matéria-prima na produção de ferro e aço, em função principalmente da expressiva economia energética no processo produtivo. A sucata de ferro é obtida, de modo geral, a partir de rejeitos industriais e pela obsolescência de bens de consumo e de capital, sendo adquirida diretamente no mercado, através dos depósitos de sucata (Ver figura 1, a seguir).

Figura 1 – A disponibilidade da sucata ferrosa gerada pela indústria e a interna gerada no próprio setor siderúrgico depende dos níveis de produção de aço. A sucata de obsolescência depende do montante de produtos com elementos de ferro e aço, da vida útil destes produtos e da eficiência dos sucateiros. A importação adicionando matéria prima e a exportação retirando complementam o ciclo.

Fonte: IABr, 2010

As sucatas geradas internamente na própria siderúrgica e a industrial constituem matérias-primas com baixos níveis de contaminantes, enquanto a sucata de obsolescência se refere a bens de pós-uso, como automóveis, eletrodomésticos, silos e tanques de estocagem, etc; por isso, esta última necessita de processamento prévio ao seu uso siderúrgico (ANDRADE et al., 2000).

A oferta mundial de sucata tem oscilado nos últimos anos entre 370 e 390 milhões de toneladas, sendo que, deste volume, aproximadamente 70% provêm da coleta de sucata industrial e de obsolescência, enquanto o restante é proveniente das próprias indústrias de siderurgia e fundição. Há tendência de redução da oferta de sucata gerada internamente no setor siderúrgico, uma vez que as inovações tecnológicas têm proporcionado melhoria na eficiência dos processos e operações.

A maior utilização do lingotamento contínuo, por exemplo, diminui a produção interna de sucata nas siderúrgicas, aumentando a necessidade de sucata externa (MOREIRA, 2001). Estima-se, ainda, que a taxa média anual de aumento na geração da sucata de obsolescência,

calculada com base nos dados reunidos entre os anos de 1995 e 2000, tenha sido igual a 4%. Para o ano de 2010, estima-se que somente a sucata de obsolescência representará algo em torno de 60% da oferta mundial de sucata, o que, somado à sucata de geração industrial, resultará em 84% da oferta mundial de sucata (ANDRADE et al., 2000). De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Siderurgia, cerca de 25% da produção brasileira de aço no ano 2000 foi à base de sucata, na sua maior parte adquirida no mercado (SIMEÃO, 2003). A Tabela 1 apresenta o quadro de distribuição de geração e consumo de sucata no período compreendido entre os anos 1999 e 2009.

Tabela 1 – Geração e consumo de sucata na siderurgia brasileira

Ano	Geração Interna	Aquisição no Mercado Interno	Consumo	Importação	Exportação
1999	3 259	4 039	7 296	18	19
2000	3 231	4 216	7 400	23	7
2001	3 099	4 024	7 074	11	13
2002	3 305	4 267	7 320	13	13
2003	3 291	5 185	8 128	50	10
2004	3 467	5 436	8 487	68	13
2005	3 083	5 131	8 125	92	12
2006	2 973	5 847	8 544	56	34
2007	2 876	6 315	8 853	46	85
2008	-	-	-	-	-
2009	2 229	5 115	7 452	28	115

Aproveitamento da sucata na fabricação do aço no Brasil

Fonte: IABr, 2010

O processamento da sucata de obsolescência, previamente ao uso nos fornos, geralmente fica a cargo da indústria sucateira, formada por agentes, distribuidores e processadores (SIMEÃO, 2003). É importante salientar que uma tonelada de aço produzida com sucata consome cerca de 33% da energia necessária para a produção dessa mesma quantidade a partir do minério de ferro (ANDRADE et al., 2000). Para se ter uma ideia, as siderúrgicas que utilizam aciaria elétrica precisam de 1.100kg de sucata para produzir 1 tonelada de aço bruto. No caso das usinas integradas, o volume de sucata é significativamente

menor, mas ainda necessário, pois para se produzir uma tonelada de aço bruto são necessários, além do minério de ferro e outros insumos, 175 kg de sucata.

Quanto à distribuição mundial da sucata de obsolescência, nota-se que a disponibilidade é diretamente relacionada com o grau de desenvolvimento econômico do país.

O aço é o material mais reciclado no mundo, diferente de outros materiais de construção similares, os quais são simplesmente triturados e transformados em produtos de baixa funcionalidade para evitar outros custos com depósitos de refugos. O aço é 100% reciclável, com pequena ou nenhuma perda das propriedades inerentes.

O valor econômico intrínseco de sua sucata garante que o aço seja recuperado e conservado com as mesmas propriedades de valor. A infraestrutura internacional de sucata garante que esta seja eficientemente coletada, processada e negociada mundialmente.

A reciclagem do aço ocorre durante todo o ciclo de vida de produtos de aço, tanto durante a fabricação de produtos como no pós-uso, as obsolescências: 1) na produção do aço, em que a sucata produzida no ambiente de fábrica é recuperada dentro das aciarias; 2) na manufatura de produtos, em que limalhas, aparas, retalhos, cavacos, resíduos de torneamento, etc. são recuperados; 3) no final do ciclo de vida, quando o consumidor posterior da sucata de aço “obsoleta” a recupera e a retém dentro do sistema.

A reciclagem beneficia o meio ambiente porque previne perdas descartadas em aterros, reduz o gasto de recursos (substitui a produção primária nas usinas integradas) e reduz a energia requisitada para a produção do aço (a energia média necessária para produzir aço através de forno elétrico a arco é de apenas 33% daquela requerida pelo processo primário nas usinas integradas).

Além de reciclar a sucata ferrosa em seu processo, o produto da siderurgia também é reciclável e o valor econômico da sucata de aço, conjugado a uma infraestrutura bem estabelecida para a recuperação, processamento e transporte, assegura que, virtualmente, todo material obsoleto disponível no local da demolição seja recuperado. Consequentemente, através da reciclagem, economiza-se com despesas e impostos diversos provenientes de aterros.

Uma pesquisa feita no Reino Unido (IISI, 2003), mostra que a grande maioria do aço dos locais de demolição está sendo recuperada. Em média, 85% estão sendo reciclados e, ainda, 10% a 12% reutilizados; apenas nos usos em revestimentos misto para piso e em aço não estrutural é que temos um menor percentual de recuperação e, por conseguinte, uma maior destinação para aterros. Esta excelente situação pode ainda ser melhorada, dando-se

maior consideração ao potencial de desmontagem durante as fases de produtos e pelo incentivo à reutilização.

3.1.4 A siderurgia brasileira

O setor siderúrgico foi intensamente desenvolvido nas décadas de 1940 e 1950, e, modernizado após as privatizações ocorridas no período 1994/2000. Este processo contou com investimentos de US\$10 bilhões, voltados essencialmente para a modernização, redução de custos, gestão ambiental e melhoria da produtividade das usinas (IBS, 2002).

O parque siderúrgico brasileiro é bastante diversificado, possuindo usinas integradas a coque, semi-integrada, integrada à redução direta, integrada a carvão mineral e produtor independente de ferro-gusa à base de alto-forno a carvão vegetal. Ressaltando-se que, o uso do carvão vegetal como redutor, ao invés do mineral, é uma peculiaridade da siderurgia brasileira (CGEE, 2010).

O setor, que já tem capacidade instalada para fabricar mais de 40 milhões de toneladas de aço por ano, está organizado em 13 empresas controladas por oito diferentes grupos empresariais, que têm negócios também em outros setores, como de mineração, cimento, logística, carboquímicos, florestal, energia e bens de capital.

Partes das empresas são subsidiárias de grupos multinacionais com sedes em outros países, e outras, controladas por grupos nacionais, também mantêm operações fora do Brasil, em países como Argentina, Canadá, Chile, Colômbia, Espanha, Estados Unidos, Guatemala, Índia, México, Peru, Portugal, República Dominicana, Uruguai e Venezuela.

Atualmente, as empresas associadas ao Instituto Aço Brasil operam 27 usinas, espalhadas por dez estados brasileiros:

- Bahia, Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo.

São ao todo 12 usinas integradas e 15 usinas semi-integradas. A indústria de aço no Brasil dispõe de tecnologias avançadas de produção e beneficiamento, com potencial para produzir os mais diversos produtos siderúrgicos e capacidade instalada bastante superior à atual demanda do mercado interno. A capacidade excedente pode ser direcionada para o mercado externo e para suprir a demanda adicional potencial gerada pelo processo de

desenvolvimento do país e por projetos especiais previstos no país, como as Olimpíadas e a Copa do Mundo (IABr, 2010).

Os setores para os quais se destina a maior parte das vendas internas de produtos siderúrgicos são: construção civil; automotivo; bens de capital; e utilidades domésticas e comerciais, que somados são responsáveis por mais de 85% das vendas.

Durante o ano de 2009, foram produzidas ao todo 26,5 milhões de toneladas de aço bruto. Em comparação a 2008, houve uma retração de 21,38% na produção, reflexo da crise econômica que atingiu os mercados mundiais. O período foi marcado ainda por forte retração da demanda interna, com redução das encomendas por parte das empresas consumidoras de aço, elevação dos estoques e consequente diminuição da produção.

A queda na produção brasileira acompanhou a tendência mundial no período. Outros grandes produtores, como Japão, Alemanha e Estados Unidos, também tiveram suas produções de aço reduzidas em 26%, 28,6% e 36%, respectivamente. Dentre os maiores produtores mundiais, apenas a China e a Índia não tiveram retração na produção.

No mercado interno brasileiro, as vendas totalizaram 16,3 milhões de toneladas de produtos de aço, 25% menos que o número registrado em 2008. As exportações tiveram uma redução de 6%, totalizando 8,6 milhões de toneladas. O saldo positivo na balança comercial de produtos siderúrgicos, em 2009, foi equivalente a US\$ FOB 1,9 bilhão, o que representa 7,5% do superávit comercial do país no período.

A exportação de produtos siderúrgicos representou 35% da quantidade total (em peso) de produtos siderúrgicos vendidos no ano de 2009. O destino da maior parte das exportações do setor siderúrgico brasileiro é o continente asiático, tendo como principais importadores a China e a Coreia do Sul.

3.2 Resíduos siderúrgicos

Nos últimos anos, o aumento das restrições na legislação ambiental, a exaustão de fontes de minério, particularmente na Europa e nos Estados Unidos, o aumento de demanda e do preço deste minério no mercado internacional, impulsionado pelo crescimento da China e o aumento exponencial do custo da energia, tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem dos resíduos siderúrgicos (REIS, 2008).

Os principais resíduos sólidos recicláveis num processo siderúrgico integrado são as poeiras das sinterizações, pó do precipitador eletrostático, os pós e lamas dos altos-fornos, lamas fina e grossa de aciaria, carepa de laminação a quente, lama da laminação a frio e a lama de tratamento de efluentes químicos (TAKANO et al, 2000). No processo semi-integrado, os principais são a escória de aciaria elétrica, o pó de FEA e a carepa do lingotamento contínuo e laminação.

3.3 Coprodutos

Freeman (1995) ao definir o conceito de prevenção à poluição esclarece que os poluentes e resíduos representam ineficiências no processo produtivo e, portanto, todos os esforços devem ser capitalizados na promoção de mudanças nos processos, na busca da eficiência, ou da ecoeficiência de Schmidheiny (1992), conduzindo à redução de custos de produção. Pauli (apud CAPRA, 2003) em seu Princípio de Emissão Zero afirma que a natureza não conhece resíduos, só a espécie humana é capaz de produzir coisas que ninguém deseja ter.

No Estado de São Paulo a Política Estadual de Resíduos Sólidos (2006) proclamou o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico, gerador de trabalho e renda. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) ratificou este mesmo princípio e estabeleceu a distinção entre resíduos e rejeitos, reafirmando a prioridade de se buscar soluções para reutilizar, reciclar e tratar os resíduos sólidos. A Política Nacional determinou ainda, entre seus objetivos, o incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados e como um dos instrumentos, a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, etc. Desta forma, proporcionando na prática, o surgimento do coproduto, embora este não tenha sido formalmente conceituado na Política.

Diversas publicações apresentam conceitos de coproduto, porém quase sempre trazendo confusão com subproduto. Aplicando o princípio da simplicidade é possível afirmar que o coproduto é a condição de um resíduo após processamento, com função definida, valor econômico e demais características de um produto convencional e o subproduto é o produto secundário de um processo produtivo. O coproduto é, portanto, por conceito uma via de

sustentabilidade, especialmente se otimizado pela regionalização. É importante ressaltar que para sua consolidação, os coprodutos devem ser funcionais, ambientalmente eficientes e seguros, o que requer uma completa mudança conceitual e de estratégia no trato dos resíduos geradores dos coprodutos.

3.4 Pó de forno elétrico a arco

O pó de forno elétrico a arco (FEA) é gerado durante a fusão de sucata ferrosa no forno elétrico a arco e coletado através de filtros de manga ou precipitadores eletrostáticos. Durante a fusão e o refino do aço há a geração de partículas sólidas e gases que são formados no interior dos fornos a temperaturas entre 1500 °C /1600 °C até 4000 °C /5000 °C nas pontas dos eletrodos. As partículas são formadas devido a fenômenos físico-químicos que acabam por pulverizar e liberar óxidos de ferro, silício, cálcio, manganês, entre outros, e também por vaporização destes materiais, sua oxidação, resfriamento e solidificação na forma de partículas. A fase mais crítica em termos de geração de material particulado é durante a descarburização realizada com a injeção de oxigênio no metal líquido.

O INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA (1996 apud Moraes, 2007), afirma que os coeficientes de geração de pó de FEA variam entre 1,4 e 2% da produção de aço, tanto para a produção de aço carbono como para aço inoxidável. No Brasil são gerados, em média, 1,48% de pó de FEA por tonelada de aço produzido, índice semelhante ao encontrado nos EUA (1,7%), Canadá (1,5%), Japão (1,8%) e Itália (1,4%), porém com teor médio de óxido de zinco de aproximadamente 10%, inferior à média internacional, situada na faixa de 15 a 25% de óxido de zinco, porém em algumas empresas já atingindo patamares superiores a 25% em função da crescente reciclagem de sucata galvanizada.

Os elementos químicos típicos que compõem o pó de FEA são provenientes da sucata ferrosa, das injeções dos finos de coque (C), do escorificante (Ca), do ferro-gusa (Fe e C), ferro-ligas (Fe-Cr, Fe-Si) e do refratário (Al, Mg), utilizados durante o processo de fabricação do aço. Além desses elementos, amostras de pó de forno elétrico têm apresentado na sua composição química elementar, Na, S, Cl, K, Mn, Zn, Ni, Mo, Sn e O (BREHM et al, 2001). Em relação às características físicas, conforme Mantovani, Takano e Cavallante (1998) e Sofilic et al (2004), a distribuição granulométrica das partículas são heterogêneas com 60% entre 0,90 µm e 4,30 µm e o diâmetro médio de 1,88 µm.

Quanto ao tratamento do pó de FEA, a maior dificuldade está nas características do material, seja pela redução dos óxidos de ferro, ou seja, pela extração do zinco. Alguns pesquisadores têm mostrado que para caracterizar adequadamente o pó de FEA é necessário utilizar várias técnicas em conjunto para se determinar as fases presentes, em especial ZnO e ZnFe_2O_4 (MORAES & BREHM, 2007). Conforme Gonçalves et al (2006), o uso de várias técnicas para caracterização é importante porque a presença de duas fases de óxidos de Zn são fundamentais para a reciclagem deste resíduo seja para obter zinco metálico para a indústria do zinco, ou para obter ferro metálico para a indústria siderúrgica.

Através da técnica de difração de raios-X, conforme Dominguez e Ulmann (1996); Kanari et al (2002); Xia e Pickles (1999), para diversas amostras de pó de FEA, é demonstrado que o principal constituinte é a franklinita (ferrita de zinco, espinélio ZnFe_2O_4), seguida pela ferrita de cálcio (espinélio CaFe_2O_4) e a magnetita (Fe_3O_4), ou seja, a presença marcante dos óxidos de ferro e zinco. Brocchi, Santos e Araújo (2007), confirmaram a prevalência da franklinita utilizando difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura e espectrometria de massa.

As ferritas são materiais cerâmicos magnéticos e até a década de 1950 as ferritas se referiam exclusivamente a cristais com estrutura espinélio. Recentemente o termo se tornou mais amplo, contemplando toda a família de óxidos de ferro, que inclui espinélios, granadas, hexaferritas e ortoferritas (SUZUKI, 2001). A estrutura do tipo espinélio é devido ao mineral espinélio (MgAl_2O_4), cuja composição geral é AB_2O_4 , tendo empacotamento cúbico de face centrada (HOSSEINI, 2008). A ferrita de zinco, ZnFe_2O_4 , cristaliza em um espinélio do tipo normal (KAIDA et al., 1975), porque os íons de zinco têm forte preferência pelo sítio tetraédrico.

Para que os processos de recuperação de recuperação de Zn sejam economicamente viáveis, é necessário que os pós contenham teores de Zn superior a 15% (YAMADA; ITAYA; HARA, 1998). As maiores empresas siderúrgicas semi-integradas do mundo têm adotado para o tratamento de pó de FEA, fundamentalmente três rotas: a recuperação de zinco e chumbo, através de dois processos complementares, um piro-metalúrgico, o *Waelz kiln* e outro hidrometalúrgico, o processo de dupla lixiviação Óxido de *Waelz*; a inertização através da blendagem com a cal, aditivos e água, de forma a alcançar o pH da mistura > 11 , o que garante que metais pesados como o chumbo, cádmio e o zinco, presentes no pó de forno elétrico, não possam se tornar solúveis, evitando consequentemente, a sua lixiviação; e a disposição em aterros industriais controlados.

O tratamento hidrometalúrgico através da lixiviação pretende recuperar os elementos constituintes do resíduo no estado líquido, visando posterior recuperação eletrolítica do zinco em solução. Para Brehm et al (2002), esta é a rota mais econômica para a obtenção de zinco de alto grau de pureza. Leclerc, Meux e Lecuire (2002) e Youcai e Stanforth (2000) sugerem lixiviação seletiva do zinco e do chumbo sem destruir a matriz de ferro, visando seu reaproveitamento. A lixiviação executada em três etapas, hidrólise do pó, destruição da estrutura cristalográfica da ferrita de zinco por fusão e lixiviação direta com NaOH é capaz de obter 98% de recuperação de zinco (VIGANO, et al, 2004).

Outros processos de redução que podem realizar a reciclagem, já desenvolvidos ou em desenvolvimento como o *Tecnored*, *Oxicup*, *Redsmelt*, *Primus*, *Itmk3* (LU & HUANG, 2001), ainda não atingiram a viabilidade econômica necessária à sua consolidação. O Rapport38 (2003) trata o processo hidrometalúrgico Zincex e o térmico Ausmelt como tecnologias latentes, embora ressalte que o processo Ausmelt ainda tem encontrado ampla aplicação industrial no tratamento de fumigação de resíduos de zinco e chumbo e no campo da metalurgia primária do chumbo. O Rapport38 (2003) considera promissores o processo ILSERV/CSM de arco-plasma e o processo térmico do tipo intensivo CONTOP (forno a ciclone), porém não consolidados e prevê a instalação de novas plantas do processo RHF, particularmente a tecnologia Primus.

Um dos processos mais conhecido e utilizado atualmente é o *Waelz kiln*, Gandiaga e Vergara (1999) enfatizam que existem mais de 14 plantas no mundo utilizando este processo. O principal objetivo é a recuperação do zinco e chumbo contidos no pó de aciaria. Conforme Nyirenda (1991), a utilização do *Waelz kiln* para tratamento do pó de aciaria é inviável financeiramente para uma planta com capacidade inferior a 50 mil toneladas anuais, considerando o pó com teor médio de 15%.

Entre as siderúrgicas semi-integradas brasileiras, 15 usinas distribuídas em 8 grupos empresariais (IAB, 2009), as de maior capacidade têm produção de aço em torno de 1 milhão de toneladas por ano e portanto, geração máxima de 11,5 a 12 mil toneladas anuais de pó de FEA. Outro aspecto a ser considerado, é a distribuição geográfica desconcentrada das plantas siderúrgicas, o que dificulta a instalação do *Waelz kiln* e estimula a busca de soluções individuais, como a proposta desta pesquisa.

3.4.1 Alternativas para reciclar pó de forno elétrico a arco

Conforme Stoltz (2010), a recuperação de metais provenientes de resíduos oxidados exige a redução dos oxidantes relevantes, normalmente usando carbono como um agente redutor, e subsequente derretimento para separar os metais dos outros componentes que formam a escória, exceto o zinco que é frequentemente separado através de processo eletrolítico. Essas duas fases podem ser feitas no mesmo forno ou em fornos separados. No caso de fornos separados, o derretimento pode acontecer em uma unidade especializada. Alternativamente, os resíduos pré-reduzidos podem alimentar novamente as principais unidades de produção, tais como um alto forno, um *BOF* ou um FEA.

Se o processo de tratamento de resíduo incluir duas unidades separadas para a redução e derretimento ou apenas uma, ele poderá ser descrito como um processo de um ou dois passos. Um exemplo de um processo de um passo é a produção de pelotas para a reciclagem no alto forno.

Um processo de dois passos, por exemplo, é o *REDSMELT*, onde os resíduos após peletização são pré-reduzidos em um forno de soleira rotativa e então carregado a quente em um forno para derretimento.

Escolher o processo de um passo ou de dois passos pode depender não apenas do tipo de resíduo, mas também da economia e de outras considerações técnicas. Se o conteúdo de metal no resíduo é muito baixo um passo de pré-redução pode ser desnecessário, pois teria pouco efeito no consumo geral de energia.

Para o pó de FEA proveniente da produção de aço-carbono o processo dominante hoje em dia ainda é o *Waelz kiln* onde a maioria do zinco é recuperada, mas todo o ferro, algum zinco residual e chumbo são deixados em uma grande quantidade de escória. O uso do processo de dois passos como o *PRIMUS*, desenvolvido pela *PAUL WURTH*, capacita a total recuperação do zinco e chumbo e a maior parte do ferro, deixando uma quantia bem menor de uma escória mais limpa.

Grillo (2011) cita a tecnologia *FASTMET*, desenvolvida pela empresa americana Midrex Technologies Inc. e a japonesa Kobe Steel Ltda., como sendo responsável por 7% da reciclagem do pó de FEA gerado, em cerca de dez unidades espalhadas pelo mundo.

3.4.1.1 O processo *PRIMUS*®

A *PAUL WURTH* desenvolveu soluções para ambas as fases de pré-redução e derretimento. O termo “pré-redução” ao invés de simplesmente “redução” significa que a metalização nunca está completa nessa fase, pois depende da temperatura do forno operante, do tempo de retenção do material dentro do forno e do metal a ser reduzido. Por exemplo, para o ferro, a metalização até cerca de 90% pode ser atingida. Deve ser ressaltado que quanto mais alto for o grau de pré-redução, mais baixo será o consumo de energia na fase de derretimento seguinte, mas a produtividade da unidade de pré-redução será também mais baixa. Portanto, uma melhor condição deve ser encontrada para balancear as duas unidades.

Para a pré-redução, duas são as tecnologias disponíveis com a *PAUL WURTH*:

1. O forno de soleira múltipla (MHF).
2. O forno de soleira rotativa (RHF).

Em um MHF, conforme mostrado na Figura 2 a seguir, uma mistura de resíduos, que pode incluir lama de aciaria, carepa oleosa, pó (em forma de pelotas se for bem fino), e carvão é carregada pelo topo, rotacionada e derramada de uma soleira para a próxima enquanto está sendo seca e pré-reduzida através de um fluxo contínuo contra corrente de gás quente.

O conceito do RHF também está baseado em um fluxo contra corrente de um gás quente e materiais sólidos, mas esses devem ser previamente moídos e secos (se necessário) e então completamente misturados e peletizados. Quando carregados no forno, as pelotas são uniformemente espalhadas na soleira em uma fina camada e são processadas em uma única rotação do forno.

Figura 2 - O forno de soleira múltipla (esquerda) é bem adaptado para processar pós que contenham mais que 5% de zinco, gerados tipicamente por fornos elétricos. Quando alimentado com pó de FEA, o processo produz gusa de qualidade semelhante ao produzido por um alto forno, além de um concentrado de óxido de zinco (mais de 55% Zn) e uma escória inerte. O forno de soleira rotativa (direita) é um processo que alcança capacidade de produção de 0,3 a 1,0 Mt/ano de gusa líquido e pode ser usado para tratar uma infinidade de finos de minério de ferro, resíduos da siderurgia integrada e redutores a base de carbono.

Fonte: Paul Wurt, 2008

Esses dois tipos de fornos têm uma característica peculiar que os torna adequados para diferentes aplicações. Um RHF pode trabalhar com temperaturas mais altas, portanto um grau de metalização mais alto pode ser atingido com ele. Além disso, como ele pode ser construído com diâmetros extensos, a capacidade para uma única unidade pode ser bem maior. Por outro lado, um MHF pode ser facilmente operado com umidade, óleo e materiais com alto nível de zinco, requisitando uma preparação de materiais mais simples e com menor consumo de combustível.

Portanto, o MHF é tipicamente proposto para aplicações de tratamento de pó de forno elétrico e o RHF para resíduos de uma usina siderúrgica integrada. Mas o RHF também pode ser usado para finos de minério ou uma mistura deles e resíduos. O produto pode ser briquetado a quente para servir de matéria prima para um alto forno ou pode ser imediatamente derretido em uma fundição específica. Dessa forma o processo acontece como uma “alternativa” (em oposição à rota convencional do alto forno) para produção de ferro.

Quanto à fase de derretimento, a PAUL WURTH desenvolveu uma fundição elétrica, mostrada na Figura 3 a seguir, que é basicamente um forno elétrico a arco, mas com algumas

características especiais uma vez que ele funciona como redutor e forno, diferentemente dos fornos elétricos a arco oxidantes usados para a fabricação do aço.

A entrada de ar é, portanto, minimizada e a possibilidade de recarburização através de injeção de carvão é prevista. A carga pré-reduzida é continuamente alimentada a quente através de uma calha entre os eletrodos. O forno não é inclinado então a corrida é feita por meio de uma máquina perfuradora combinada e canhão de lama. A rápida troca de carcaça é possível já que o forno permanece em um carro deslizante.

A combinação desse tipo de forno com um MHF é chamado de processo *PRIMUS®*.

Figura 3 – O forno a arco para produção de ferro quando usado em um processo de estágio único, permite a reciclagem de vários tipos de metais ferrosos e não-ferrosos que contém resíduos gerados pela indústria metalúrgica, como pós ou lamas de aço carbono ou inox de fornos elétricos à arco, resíduos de ferro-níquel, escória Waelz, catalisadores gastos e escória de cobre.

Fonte: Paul Wurt, 2008

Exemplos de usinas de tratamento de resíduos, com diferentes processos e diferentes materiais, podem ser vistas no Anexo A.

3.4.1.2 O processo *Waelz*

O processo *Waelz* é a tecnologia pirometalúrgica predominante para o tratamento do pó de FEA e envolve a redução da ferrita de zinco usando coque ou carvão em um forno horizontal rotativo, conforme a figura 4, acima de 1000 °C. Metais como o Zn, Cd e Pb são reduzidos, volatizados e são reoxidados para óxido metálico na saída do fluxo de gás e coletados como pó ou gás enquanto o ferro e outros elementos múltiplos permanecem no resíduo sólido, onde são

reduzidos a uma combinação de óxidos, sulfetos, silicatos e ferro metálico (HOLLOWAY, ETSELL, MURLAND, 2007).

A planta de Azer, na Espanha, para a reciclagem do pó de FEA utiliza o processo *Waelz* e em complemento o processo hidro-metalúrgico de dupla lixiviação chamado de Óxido de *Waelz* - OW desde 1987. Estes processos são considerados a melhor tecnologia disponível pela Comissão Europeia (IISI, 2003). A planta recebe o pó das diversas aciarias espanholas, faz a homogeneização com adição de óxido de ferro e cal. Em seguida a mistura é carregada em um forno de 50 metros de comprimento por 3,5 metros de diâmetro com temperatura de 1200 °C a uma taxa de 16,6 t.h⁻¹. No forno é injetado coque a taxa de 2,5 t.h⁻¹. Dentro do forno existem duas regiões distintas, conforme a figura 5, uma redutora, a parte inferior que é constituída de massa sólida e outra oxidante, a parte superior, em que uma corrente em contra fluxo de ar arrasta os gases com os óxidos gerados dentro do forno para uma câmara de sedimentação, uma torre de acondicionamento e um filtro eletrostático.

Os produtos do processo *Waelz* são a escória que possui em torno de 45% de ferro e o Óxido de *Waelz* - OW, que contém, conforme Zunkel e Schimitt (1995) até 68% de zinco contaminado por chumbo. Cada tonelada de pó de FEA produz 700 kg de escória e 300 kg de OW. O OW é submetido a um processo de dupla lixiviação, na qual são eliminados os halogênios, predominantemente os clorados e os alcalinos. A água utilizada no processo de lixiviação é bombeada para a planta de tratamento, em que é submetida a um tratamento físico-químico que proporciona a precipitação e a separação dos metais. A recuperação do zinco e do chumbo são acima de 95% (ARAÚJO, 2005).

Figura 4 – O forno *Waelz* da Votorantim Metais com 70 m de comprimento e 4,5 m de diâmetro faz parte da planta de polimetálicos. A unidade demandou investimentos de R\$ 521 milhões e já produz em pequena escala. O empreendimento deve adicionar 15 mil toneladas anuais à produção de zinco da unidade de Juiz de Fora, além de reduzir em cerca de 30% a importação do concentrado e em 80% a geração de rejeitos.

Fonte: Votorantim, 2008

Figura 5 – Reações típicas do forno Waelz a temperatura de 1200 °C , na zona inferior com atmosfera redutora fica a carga sólida que comporá a escória, e na zona superior com atmosfera oxidante, estão os materiais voláteis produzidos no processo e reoxidados que comporão o Óxido de Waelz.

Fonte: Votorantim, 2008

3.4.1.3 O processo Ausmelt

O processo *Ausmelt* é uma tecnologia onde a ferrita é misturada a SiO_2 e carvão ou coque e reduzida para formar gases de óxido metálico e um resíduo de silicato de ferro. O Processo *Ausmelt* se baseia na injeção de ar, oxigênio e combustível diretamente para o banho de escória fundida através do sistema de lança submersa, conforme pode ser visto na figura 6. As matérias-primas sólidas são adicionadas através de um alimentador no topo do forno. Pelo controle preciso da pressão parcial de oxigênio, as condições podem ser criadas para separar eficazmente os metais voláteis valiosos dos não voláteis de baixo valor que ficam retidos em uma escória estável, que pode ser utilizada para uso como material de construção ou ter disposição final em aterros industriais de resíduos sólidos de classe IIA. Além disso, é possível a geração de eletricidade pela recuperação de calor das reações de pós-combustão. Especificamente sobre a recuperação de pó de FEA podem ser utilizadas duas rotas de processo:

- fundição e redução num processo descontínuo de dois estágios para produção de óxido de zinco e uma escória descartável com 1% de zinco;

- fundição contínua para produção de óxido de zinco e escória também com 1% de zinco.

Nas duas rotas são efetuadas blendagens de minério de óxido de zinco (39% Zn e 4,6% Pb) e pó de FEA (23% Zn e 1,8% Pb), com taxa de alimentação variando de 200 a 250 kg.h⁻¹ e com a mistura sendo fundida a 1300 °C para formação de fumos metálicos e manutenção de 3 a 4% de zinco na escória. O minério também age como agente fluxante para produzir as condições metalúrgicas necessárias para operação otimizada do forno. Em seguida, é efetuado o enriquecimento de oxigênio com até 40% em volume de O₂. Na fase de redução a alimentação da mistura é interrompida e é iniciada a injeção de carvão que é mantida de 30 a 45 minutos para reduzir o zinco da escória para 1% ou menos. Nesta fase a escória é mantida a uma temperatura de 1350 °C. Os fumos (71% Zn e 7% Pb) são posteriormente tratados em um processo de lixiviação para recuperação de zinco e do chumbo (HUGHES et al., 2008).

Figura 6 - Processo *Ausmelt*, baseado na injeção de ar, oxigênio e combustível diretamente na escória fundida via lança submersa.

Fonte: Outotec Ausmelt TSL Process, 2011

3.5 O zinco

As reservas mundiais de zinco estão estimadas em 250 Mt., distribuídas principalmente na Austrália, China, México, Peru, Cazaquistão e Índia, representando 73,9% do total. Apenas 1,0% dessas reservas estão localizadas no Brasil, são 2,2 Mt, concentradas no Estado de Minas Gerais. A produção mundial de zinco contido, em concentrado, atingiu 12,4 Mt em 2011. Os maiores produtores são a China, Austrália e Peru, a produção brasileira foi de 198 Kt, representando 1,6% da produção mundial (DNPM, 2012).

No Brasil a demanda por zinco, mesmo considerando a situação mais desfavorável de crescimento econômico projetado, cenário frágil conforme a figura 7, supera sua produção já a partir de 2015, conforme demonstra a figura 8, a seguir (MME, 2009).

Figura 7 - A projeção da demanda brasileira por zinco até o ano de 2030, aponta que o consumo poderá variar de 360.000 a 890.000 toneladas ano, considerando três cenários de crescimento. O consumo de zinco no Brasil é de 1,35 kg/habitante/ano, índice reduzido em relação ao consumo europeu de 6,0 kg/habitante/ano e dos Estados Unidos da América de 4,0 kg/habitante/ano.

Fonte: MME, 2009

Figura 8 – A produção brasileira de zinco primário cresce com ritmo de 4% ao ano, considerando a possibilidade do parque metalúrgico nacional atender a demanda interna e que a produção de concentrados de zinco mantenha um fornecimento mínimo de 70% da demanda nacional da metalurgia de zinco, a projeção da produção futura de concentrado de zinco, inserida nos três cenários indica que em 2030 a produção nacional de concentrado de zinco deverá se situar entre 315.000 e 800.000 toneladas /ano.

Fonte: MME, 2009

3.6 Metalurgia do pó

A metalurgia do pó é um processo metalúrgico de fabricação de peças metálicas que tem como principais características, entre outras, a utilização de pós metálicos e não metálicos como matérias-primas e ausência de fase líquida ou presença apenas parcial de fase líquida durante o processo de fabricação. A partir dos pós (CHIAVERINI, 2001), são duas as etapas fundamentais do processo, a moldagem ou compactação pela aplicação de pressão nos pós, à temperatura ambiente e o aquecimento ou sinterização a uma temperatura abaixo da temperatura de fusão do metal ou liga considerada, sob condições controladas de temperatura, tempo e ambiente. Outras operações típicas da metalurgia do pó consistem na mistura e homogeneização dos pós, antes da compactação, quando se trata de vários componentes, e na calibração após a sinterização.

A mistura e homogeneização aumentam o contato entre as partículas, o resultado depende do tamanho e da forma das partículas. Na homogeneização, procura-se assegurar um pó uniforme, mais adequado para compactação, ou seja, com tamanho e forma de partículas bem distribuídas, evitando-se segregação. A homogeneização pode igualmente servir para

alterar a densidade aparente ou a velocidade de escoamento do pós, porque durante a operação pode ocorrer uma certa redução do tamanho da partícula, assim como um certo arredondamento de sua forma e ainda, eventualmente, um certo amaciamento de sua superfície (CHIAVERINI, 2001).

3.6.1 O processo de sinterização

A sinterização, conforme Mourão et al (2007), é um processo de aglomeração, por fusão incipiente, de minério de ferro com granulometria entre 0,15 a 8 mm (*sinter feed*), combustíveis, coque ou carvão vegetal com granulometria entre 1 mm e 3 mm, fundentes, sínter de retorno e água. O minério de ferro é o principal componente da mistura com aproximadamente 60% do total, o coque deve estar em torno de 4%, e o sínter de retorno é o material sinterizado fora das especificações granulométricas. O calor necessário é fornecido pela combustão do coque ou do carvão vegetal contido na carga com o oxigênio do ar.

Os materiais, devidamente homogeneizados, são carregados em uma máquina de sinterização, formando camadas de aproximadamente 700 mm de altura por 2000 mm de largura sob uma grelha que permite a passagem de ar de um sistema de exaustão. Iniciada a ignição, na parte superior da carga, a combustão prossegue na medida em que o ar entra em contato com as partículas de coque ou carvão vegetal, formando uma frente de combustão. Para que isto aconteça é necessário que haja um bom controle da permeabilidade da carga, de tal forma a possibilitar a passagem homogênea dos gases e ar, com vazão certa. Também é essencial a quantidade de água adicionada na mistura, de modo a assegurar que as partículas mais finas fiquem aderidas às mais grossas.

A combustão localizada provoca uma fusão parcial da carga na região mais quente (1300 °C a 1400 °C), a frente de combustão, e o gás quente de combustão formado principalmente por CO₂, N₂ e O₂, que vai pré-aquecendo as camadas subsequentes da carga.

Durante o processamento, parte do enxofre contido na carga é eliminado na forma gasosa, SO₂, juntamente com os gases de combustão. O sínter de minério de ferro deve possuir granulometria entre 5 mm e 40 mm, alta redutibilidade e resistência mecânica.

3.6.1.1 Minério de ferro

Os minérios de ferro podem ser hematíticos (Fe_2O_3), magnetíticos (Fe_3O_4), ilmeníticos (FeTiO_3), limoníticos (óxido de ferro hidratado), e outros. Porém, os de maior importância são os hematíticos e os magnetíticos (MOURÃO et al., 2007). Em função da granulometria o minério de ferro se classifica em minério granulado de 8 a 50 mm, utilizado diretamente nas usinas siderúrgicas, o *sinter feed*, de 0,15 a 8 mm, para a produção de sinter e o *pellet feed*, menor que 0,15 mm, para produção de pelotas.

3.6.1.2 Redutor

O coque é o principal combustível sólido utilizado nas plantas de sinterização, sua utilização tem como objetivo promover a ignição do processo e fornecer calor durante a sinterização. A quantidade utilizada é na ordem de 4% da carga para que se atinja as temperaturas recomendadas na zona de combustão de 1300 °C a 1400 °C, temperaturas menores resultam em sinter menos resistentes e temperaturas maiores resultam em fusão exagerada da carga com formação de fase líquida (MOURÃO et al, 2007). A presença da fase líquida na sinterização favorece a ligação das partículas metálicas entre si e diminui drasticamente a permeabilidade comprometendo o processo (CHIAVERINI, 2001).

3.6.1.3 Ligantes

Os ligantes utilizados no processo de sinterização são a água e a cal, a água atua através da tensão superficial sobre as partículas finas e mantém as micropelotas na etapa a frio, depois da secagem é a cimentação da cal que mantém o microaglomerado. Para Cunha (2001), quanto maior for o consumo da cal na micropelotização maior é a permeabilidade, o que favorece o aumento da produtividade de sinterização e eleva a resistência a frio do sinter obtido. A dolomita, um mineral de carbonato de cálcio e magnésio, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, é um agente ligante frequentemente utilizado no tratamento de pó de forno elétrico (BLATZ; MICZAJKA; BOYSEN, 2004).

3.6.1.4 Fundentes e fluxantes

Os fundentes são materiais que dissolvem a escória e formam uma solução com menor temperatura *liquidus*, permitindo que o processo seja viabilizado a baixas temperaturas. Os fluxantes aumentam a fluidez e facilitam as reações e separação metal-escória (MOURÃO et al., 2007). Normalmente os fluxantes e fundentes são óxidos ou carbonatos, fluoretos e eventualmente cloretos. Os óxidos e carbonatos, óxidos de cálcio, de magnésio, de silício e de bário são os mais utilizados (SUSAKI, 2011). O fluoreto de cálcio, a fluorita, é um eficiente fluxante, melhorando a fluidez das escórias siderúrgicas, porém, a sua característica de dissolver óxidos, também, afeta negativamente pelo desgaste mais intenso dos refratários.

O flúor é um halogênio, cuja característica química principal é o seu poder como agente oxidante. Os halogênios possuem uma eletronegatividade $\geq 2,5$ segundo a escala de Pauling. São altamente oxidantes, por isso reagem espontaneamente com os metais, não metais, substâncias redutoras e até com os gases nobres. O fluor é o mais eletronegativo (4,0) e o mais reativo de todos os elementos químicos. Sua extrema reatividade, que se traduz em forte tendência à formação de compostos, atribui-se à facilidade com que atrai elétrons e ao reduzido tamanho de seus átomos.

3.6.1.5 Mistura e homogeneização

O objetivo da mistura e homogeneização é aumentar o contato entre as partículas, o resultado depende do tamanho e da forma das partículas. Desta forma, quanto maior for a uniformidade do tamanho da partícula do material a ser misturado ou homogeneizado, tanto maior a possibilidade de se obter resultados uniformes e consistentes. A homogeneização pode assegurar um pó uniforme, com tamanho e forma de partículas bem distribuídas, se evitando a segregação. A homogeneização pode servir para alterar a densidade aparente ou a velocidade de escoamento do pó. Durante a operação, também pode ocorrer redução do tamanho, arredondamento da forma e até amaciamento da superfície da partícula (CHIAVERINI, 2001).

Na etapa de preparação das matérias primas, a mistura entre elas é primordial para obtenção de produtos de alta qualidade, o grau de mistura dos materiais depende do número de constituintes da carga, da granulometria, umidade, tipo de misturador e tempo de mistura

(REIS, 2008). As misturas utilizadas podem ser de um único metal, de uma liga comum ou de uma mistura de vários pós constituintes em porcentagens tais que permitam atingir a composição final desejada (CHIAVERINI, 2001).

As diferentes matérias primas e ligantes são agrupadas, pesadas e processadas em um misturador. A umidade das matérias primas previamente homogeneizadas pode ser diretamente compensada durante o processo do misturador (BLATZ; MICZAJKA; BOYSEN, 2004).

A qualidade da mistura determina a qualidade do produto final, conforme Blatz, Miczajka & Boysen (2004), a reciclagem de poeiras deteriora a permeabilidade da sinterização. Portanto, o misturador deve proporcionar a homogeneidade das matérias primas que compõem a mistura. Para tanto, de acordo com Reis (2008), as seguintes variáveis devem ser controladas: umidade, velocidade de rotação do misturador, parâmetros de processo como posição dos raspadores, posição de descarga de alimentação e ângulo de equipamento, tamanho e distribuição das partículas das matérias primas que compõem a mistura.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção traz a descrição dos resíduos sólidos industriais utilizados nos experimentos e que se constituíram nas matérias primas para produção do aglomerado pré- fundido (APF). Também são apresentados os métodos de preparação destas matérias primas, a composição das misturas e processos de fabricação do APF nas três fases da escala experimental e da escala industrial, assim como o detalhamento das plantas e equipamentos de produção. E, finalmente, são citadas as instituições que efetuaram as análises das amostras, a relação de equipamentos para execução destas análises e correspondentes metodologias.

4.1 Matérias primas e fluxo de produção

A produção do aglomerado pré-fundido (APF) ocorreu em duas etapas, uma em escala experimental, dividida em três fases, e outra em escala industrial.

Os materiais utilizados no desenvolvimento desse trabalho foram os resíduos sólidos portadores de ferro, resultantes do processo de fabricação do aço: o pó de forno elétrico e a carepa de lingotamento contínuo/laminação. O redutor foi o coque, que reduz o óxido de zinco de acordo com as seguintes reações (PICKLES, 2003):

Inicialmente como aglomerante foi utilizado o pó de forno panela, com alto teor de cal calcítica, que foi posteriormente descartado porque a fluorita cerâmica (CaF_2) pode desempenhar esta função. O aditivo utilizado foi a fluorita cerâmica material à base de flúor, por suas excelentes características fluxantes, para reduzir a reoxidação do zinco, contribuindo para rebaixar o teor de zinco no APF.

A fluorita cerâmica não funde na temperatura de sinterização ($T_{\text{fusão}} = 1418^\circ\text{C}$). Mas, se espera a reação de dupla troca ($\text{ZnO} + \text{CaF}_2 \rightarrow \text{ZnF}_2 + \text{CaO}$), onde o ponto de fusão do ZnF_2 é 872°C e do ZnO é 1975°C . Assim, o objetivo da fluorita é diminuir o ponto de fusão da mistura que possui óxido de zinco e ferrita de zinco e facilitar a redução do ZnO pelo carbono, para evaporar o zinco metálico na temperatura de sinterização (a temperatura de ebulição do zinco é 907°C - menor que a temperatura de sinterização).

Os materiais foram segregados, quarteados e homogeneizados para a realização dos experimentos, conforme estabelecido na Norma ABNT NBR 10007:2004. No desenvolvimento do experimento foram produzidas misturas compostas de partículas de pó de forno elétrico aglomeradas a partículas de coque, carepa, pó de forno panela (utilizada apenas parcialmente na primeira fase dos experimentos), fluorita cerâmica e água. As misturas foram variadas em oito formulações distintas nas duas primeiras fases da escala experimental e em seis formulações na terceira fase, conforme planejamento experimental (RODRIGUES & LEMMA, 2009). Para avaliação de possíveis fontes de variabilidades do processo de sinterização foi aplicada a ferramenta de estatística denominada mapa de processos (WERKEMA, 2000) e complementarmente foram coletadas informações na literatura para definição da estratégia de realização de ensaios (Ver Apêndice A – Mapa de Processos).

As misturas produzidas foram granuladas, com o teor de umidade variando de 3,32 a 7,8% na primeira fase dos experimentos. No processo típico de sinterização a umidade varia de 8 a 10% (U.S. STEEL, 1985). A aglomeração a frio, se baseou no processo de desenvolvimento de ligações hidráulicas entre as partículas. A relação C fixo/Fe total teve como base a utilizada por Çamci et al. (2002).

O fluxograma do experimento para fabricação do aglomerado pré-fundido (APF) está apresentado na figura 9, a seguir.

Figura 9 – Fluxograma para fabricação de APF, desde a segregação das matérias primas, passando pelas três fases experimentais para definir a viabilidade do uso dos resíduos industriais, verificar a influência dos componentes para maximizar o ferro e minimizar o zinco e identificar a formulação para otimizar a extração do zinco, até a produção do APF para testes em altos fornos de pequeno porte.

A formulação das misturas objetivou produzir dois produtos, um o aglomerado pré-fundido, APF, com teor de óxido de ferro superior a 70%, objeto do processo de sinterização, oferecendo ganho de ferro metálico e baixo percentual de óxido de zinco compatível com a viabilidade de substituição parcial do minério de ferro nos altos fornos de pequeno porte ou a substituição parcial da sucata ferrosa no forno elétrico; e o outro, o concentrado de zinco, com teor de óxido de zinco maior que 50%, resultante da volatilização deste metal durante o processo de sinterização e coletado através de filtro de mangas.

Os testes de produção em escala experimental foram realizados em uma planta piloto de sinterização, instalada na usina ArcelorMittal Piracicaba. A mistura e o APF, material granulado na faixa de 6,3 a 51 mm após a sinterização, foram submetidos a ensaios laboratoriais para definição da composição ótima. A determinação da composição ótima levou em consideração os seguintes fatores: a variação antes e após a sinterização dos percentuais de óxido de zinco (redução) e de ferro (elevação); a resistência à degradação granulométrica; a metalização e a produção mensal do pó de FEA (1700 t.mês^{-1}). Após esta definição, o APF foi produzido em escala industrial na planta de sinterização Metalflexi para os testes no alto forno da CSI Siderúrgica Irineu Ltda.

Os parâmetros operacionais do alto forno foram definidos pela equipe de processos da CSI para avaliação do desempenho do APF. O pó recuperado da manga filtrante da planta de sinterização de fluxo ascendente da Metalflexi, o concentrado de zinco, foi analisado para se verificar a composição química, em especial os percentuais de óxidos de zinco, chumbo e cádmio.

Os experimentos foram realizados nos seguintes períodos: a primeira fase de 07 de fevereiro de 2012 a 13 de março de 2012; a segunda fase de 14 de agosto de 2012 a 23 de outubro de 2012 e a terceira fase de 05 de março de 2013 a 18 de dezembro de 2013.

Neste trabalho foram utilizados, como referência, os conceitos dos vários processos para a remoção e recuperação do zinco que têm sido pesquisados (ZUNKEL & SCHIMITT, 1995), (SAITO, 1975), (TEDJAR, 2004), (IGUSHI; FANMING; HIURA, 2002).

4.2 Descrição da planta piloto de sinterização

Os experimentos foram conduzidos na planta piloto de sinterização instalada no laboratório de ensaios da Metalflexi, na ArcelorMittal Piracicaba. A figura 10, a seguir, ilustra a planta piloto.

Figura 10 – Planta piloto de sinterização de fluxo descendente da Metalflexi instalada na ArcelorMittal de Piracicaba, com exaustor de capacidade de vazão de $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ e que após a ignição produz uma frente térmica que atinge 1200°C , para sustentar a transferência de calor da camada superior da mistura dentro da panela de sinterização até a camada inferior.

Fonte: Autor, 2012

A planta piloto é composta por uma balança Balmak, modelo ELC – 6/15/30, série 006.292/2010, com capacidade de 50 kg, um misturador intensivo tipo Eirich, uma panela de sínter, uma caixa de vento, um ciclone, um exaustor com 1200 mmca de capacidade, um britador e um deck de peneiras vibratórias com malhas de 50,8 mm, 19 mm, 9,5 mm e 6,3 mm. Os detalhes da planta piloto de sinterização podem ser vistos no Apêndice B.

4.3 Descrição da planta de sinterização Metalflexi

A instalação experimental conta com um silo e balança para pesagem e definição da proporção da mistura (pó de forno elétrico, pó de forno panela, carepa, finos de coque); silo do misturador para efetuar a mistura (aditivo, água) e aglomeração; transportador de correia para levar a mistura até o silo pulmão; alimentador das caixas de queima; câmara de ignição para acendimento da mistura (gás natural); exaustor para retirar os gases da queima dos finos de coque e promover evaporação da umidade da mistura; caixas de vento, ciclone e filtro de mangas para coletar o material particulado; britador para fragmentar o aglomerado pré-fundido (APF) e peneira para separar por granulometria o APF graúdo $> 4,75 \text{ mm}$ e o fino $< 4,75 \text{ mm}$ (que retorna para o processo), conforme pode ser visto na figura 11, a seguir.

Figura 11 - Planta de sinterização Metalflexi instalada na ArcelorMittal de Piracicaba com capacidade de produzir 12 toneladas por dia de APF, com granulometria na faixa de 4,74 mm a 50 mm.

Fonte: Autor, 2012

4.4 Métodos utilizados

Nesta pesquisa foram utilizadas técnicas de análise documental, particularmente de relatórios de caracterização de resíduos conforme a ABNT NBR 10004:04. A composição química das matérias primas, misturas e APF's foi obtido com o espectrômetro por fluorescência de raios X, modelo Axios advanced, marca PANalytical. O estudo para identificação das fases cristalinas das matérias primas, misturas e dos aglomerados pré-fundidos foram efetuados através do método do pó, mediante o emprego de DRX, difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detetor X'Celerator. A identificação das fases cristalinas foi obtida por comparação de difratograma das amostras com os bancos de dados PDF2 do ICDD – International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007). A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas de banco de dados do ICSD – Inorganic Crystal Structures Database (2207). A forma de associação dos elementos presentes, morfologia e aspecto topográfico foram realizados com o MEV, microscópio eletrônico de varredura acoplado a sistema de micro análise por MEV-EDS/WDS.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca. O MEV é um aparelho que pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida e que permite aumentos de 300.000 vezes ou mais e alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas com valores da ordem de 2 a 5 nanômetros.

O MEV acoplado a sistema de micro análise por MEV-EDS/WDS utilizado (Ver Figura 12) pertence ao Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Os detectores acoplados de detecção de raios γ característicos são por dispersão de energia (EDS) e por dispersão em comprimento de onda (WDS).

O MEV utiliza um detector de elétrons retroespalhados (BSD) com 4 entradas de sinal para fornecer a composição química pontual e elementar. As fotografias têm diferentes tons de cinza, a resina é negra. Os diferentes níveis de cinza são função do número atômico presente, quanto mais próximo do branco maior é o número atômico porque quanto maior o número atômico menor é o poder de penetração dos elétrons (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

Figura 12 - Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV acoplado a sistema de micro análise por MEV-EDS/WDS do LCT da Escola Politécnica da USP. O MEV permite aumentos de 300.000 vezes ou mais, para a maior parte de materiais sólidos, conservando a profundidade de campo compatível com a observação de superfícies rugosas. O MEV

possui alta resolução com valores da ordem de 2 a 5 nanômetros, instrumentos de pesquisa avançada são capazes de alcançar uma resolução melhor que 1 nm.

Fonte: Autor, 2013

Todos os equipamentos utilizados pertencem ao Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, exceto as análises granulométricas das matérias primas e de densidade real que foram efetuados pelo Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais (CCDM) da Universidade Federal de S. Carlos, UFSCar, a Espectroscopia Mossbauer executada pelo Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP e as caracterizações das misturas e APF's que foram realizadas nos laboratórios da Bioagri, conforme Tabela 2 a seguir. As análises preliminares de composição química da terceira fase dos experimentos, tanto das misturas como dos APF's, foram efetuadas no Espectrômetro de fluorescência de raios X, modelo Axios, da ArcelorMittal de Piracicaba.

Tabela 2 - Metodologias utilizadas na pesquisa

Parâmetro	Unidade	Método
Quarteamento e Homogeneização	-	ABNT NBR 10007:04
Densidade real das matérias primas	g/cm ³	Deslocamento de fluidos (Ultrapycnometer)
Distribuição granulométrica das matérias primas	µm (Sedígrafo) e % (Peneiras)	Decantação do material (Sedígrafo - IT LABMASS140R4)/Peneiramento (ITAMP204)
Composição química das matérias primas	%	Fluorescência de raios X
Fases cristalinas das matérias primas	-	Difratômetro de raios X
Fases cristalinas do pó de fono elétrico (quantitativa)	%	Espectroscopia Mossbauer
Classificação das misturas	Classe	ABNT NBR 10004:04 ABNT NBR 10005:04 ABNT NBR 10006:04
Classificação dos APF's	Classe	ABNT NBR 10004:04 ABNT NBR 10005:04 ABNT NBR 10006:04
Composição química das misturas	%	Fluorescência de raios X
Composição química dos APF's	%	Fluorescência de raios X
Fases cristalinas das misturas	-	Difratômetro de raios X
Fases cristalinas dos APF's	-	Difratômetro de raios X
Morfologia e aspecto topográfico dos APF's	-	MEV-EDS/WDS
Quantificação das fases dos APF's	-	Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD – Inorganic Crystal Structures Database (2007)
Composição química do concentrado de zinco	%	Fluorescência de raios X

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

4.5 Fabricação experimental do APF

Os materiais utilizados no experimento, pó de FEA, pó de FP, coque, carepa e fluorita cerâmica foram coletados dos equipamentos/processos produtores e segregados da seguinte forma:

O pó de FEA, o pó de FP e a carepa de aço, resíduos sólidos industriais do processo produtivo da ArcelorMittal Piracicaba, foram coletados diretamente dos seus pontos de geração, sendo assim o pó de FEA foi coletado do silo de armazenamento do sistema de despoeiramento do forno elétrico em big-bags de 1t, conforme figuras 13 e 14, a seguir.

Figura 13 - Casa de filtros do sistema de despoeiramento do forno elétrico a arco com capacidade de $1,6 \text{ milhão de m}^3.\text{hora}^{-1}$, com doze compartimentos e quatrocentas mangas filtrantes por compartimento.

Fonte: Autor, 2012

Figura 14 – Armazenamento do pó de FEA feito em *Big-bags*, o armazenamento também pode ser feito a granel em local adequado, conforme a norma brasileira para armazenamento de resíduos perigosos ABNT NBR 12235:1992

Fonte: Autor, 2012

O pó de FP foi coletado das moegas do sistema de despoeiramento do forno panela em big-bags de 750 kg. A carepa foi coletada do poço de carepa do lingotamento contínuo e laminação, seca e embalada em big-bags de 500 kg. O coque foi adquirido da empresa Litoral Coque Ltda. em big-bags de 1 t. A fluorita cerâmica foi adquirida da Cerâmica Delta em big-bags de 1 t. A fluorita cerâmica é o resíduo resultante da filtragem dos gases provenientes do processo da queima de placas em fornos para a produção de pisos cerâmicos. Neste sistema de tratamento de gases, o gás fluorídrico (HF) reage com o óxido de cálcio (CaO) da cal hidratada impregnada nos filtros de manga. O pó resultante deste processo é a cal de filtro, cuja denominação passou a ser fluorita cerâmica, devido as suas características similares à fluorita mineral. A passagem dos gases pelo sistema de captação e tratamento evita a emissão

dos fluoretos para a atmosfera nos processos cerâmicos (Ver Apêndice C – Aplicação da fluorita cerâmica na siderurgia).

Estes materiais foram segregados em uma área isolada do galpão de carepa da ArcelorMittal Piracicaba em um prédio coberto e concretado. Os materiais foram quarteados e homogeneizados individualmente conforme Norma ABNT NBR 10007:2004, em uma área do próprio galpão de carepa, o piso foi previamente limpo com uma varredeira mecânica e revestido por uma lona plástica para evitar contaminação. O detalhamento das operações de quarteamento e homogeneização podem ser verificados no Apêndice D.

4.5.1 Caracterização dos materiais

Para caracterização das matérias primas foi retirado 500 g de cada recipiente e enviado para o Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, LCT – EPUSP. Os estudos foram efetuados através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'celerator. As identificações das fases cristalinas foram obtidas por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD – International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD-PANalytical Inorganic Structure Database (2007).

As determinações semiquantitativas *standardless* foram obtidas por fluorescência de raios X dos elementos químicos compreendidos entre o flúor e o urânio em espectrômetro por fluorescência de raios X Axios Advanced, marca PANalytical. A perda ao fogo (PF) foi efetuada a 1050 °C por 1h. Os valores foram expressos em percentual de óxidos, normalizados a 100%.

A determinação de densidade real das matérias primas foi obtida com a utilização do princípio de Arquimedes de deslocamento de fluídos, através do equipamento Ultrapycnometer 1000 da Quantachrome. A distribuição granulométrica foi efetuada via peneiramento para o coque de petróleo e sedígrafo para as demais matérias primas. Para o peneiramento, o coque foi colocado em estufa a 110 °C por 24 horas para retirada da umidade. Em seguida, o coque foi colocado no conjunto de peneiras vibratórias por dez minutos, o material retido em cada peneira foi pesado na balança e suas porcentagens foram calculadas. A distribuição das faixas granulométricas por sedígrafo foi obtida através da decantação do

material (Lei de Stokes) em equipamento Sedigraph 5000ET da Micromeritics. Ambos ensaios foram realizados no Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (Ver Anexo B).

4.5.2 Formulação das misturas

Para determinação da composição ótima, como já citado, foi levado em consideração a os percentuais de zinco e de ferro presentes antes e após a sinterização, a resistência à degradação granulométrica, a metalização e a produção mensal de 1700 t de pó de forno elétrico gerados na ArcelorMittal Piracicaba. O coque utilizado no experimento possuía 87,05% de carbono fixo, quanto maior a quantidade de carbono fixo maior é o índice de combustão. A determinação do carbono fixo é feita reduzindo de 100% a soma dos teores (%) de umidade, matéria volátil e cinzas.

A relação do carbono fixo/Fe total, para cada mistura, considerando as análises químicas do pó de forno elétrico, pó de forno panela, e da carepa apresentou os seguintes resultados, conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Relação C fixo /Fe total das misturas

Mistura	C fixo/ Fe _t
Mist. 1	2,61/47,81
Mist. 2	2,61/46,48
Mist. 3	2,61/48,37
Mist. 4	4,35/51,66
Mist. 5	4,35/49,66
Mist. 6	4,35/49,01
Mist. 7	2,61/48,70
Mist. 8	4,35/47,68

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O percentual de coque nas misturas foi de 3% em peso para as misturas 1, 2, 3 (Ver Tabela 4) e 7 (Ver Tabela 6) e de 5% em peso para as misturas 4, 5, 6 (Ver Tabela 5) e 8 (Ver Tabela 6). Conforme Telles (2010), que trabalhou com percentuais de 8,4%, 9,6% e 10,8%, o

aumento da relação da quantidade de coque sobre o resíduo foi o principal fator que favoreceu a eliminação de zinco no processo de sinterização. Entretanto, há dificuldades de ordem técnica, pois o aumento do percentual de coque eleva a temperatura no processo de sinterização e coloca em risco as grelhas da panela de sinterização; e de ordem econômica, o coque tem alto custo no mercado (Preço FOB R\$440,00 conforme Zhengzhou Huimei grafite Co., Ltd).

Tabela 4 – Composição das misturas 1, 2 e 3

Materiais	M1(%)	(Kg)	M2(%)	(Kg)	M3 (%)	(Kg)
Pó de FEA	35,0	24,5	40,0	28,0	45,0	31,50
Pó de FP	8,0	5,6	8,0	5,60	8,0	5,60
Carepa	48,5	33,95	43,5	30,45	38,5	26,95
Coque	3,0	2,1	3,0	2,10	3,0	2,10
Fluorita	5,5	3,85	5,5	3,85	5,5	3,85

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

Tabela 5 – Composição das misturas 4, 5 e 6

Materiais	M4(%)	(Kg)	M5(%)	(Kg)	M6 (%)	(Kg)
Pó de FEA	35,0	24,5	40,0	28,0	45,0	31,50
Pó de FP	8,0	5,6	8,0	5,60	8,0	5,60
Carepa	47,0	32,9	42,0	29,4	37,0	25,9
Coque	5,0	3,5	5,0	3,5	5,0	3,5
Fluorita	5,0	3,5	5,0	3,5	5,0	3,5

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

Tabela 6 – Composição das misturas 7 e 8

Materiais	M7(%)	(Kg)	M8(%)	(Kg)
Pó de FEA	50,0	35,0	50,0	35,0
Pó de FP	8,0	5,6	8,0	5,6
Carepa	33,5	23,45	32,0	23,4
Coque	3,0	2,1	5,0	3,5
Fluorita	5,5	3,85	5,0	3,5

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

4.5.3 Produção do aglomerado pré- fundido (APF) em escala experimental

A produção do APF em escala experimental foi dividida em três fases. A primeira fase da escala experimental, efetuada com oito formulações distintas, objetivou verificar através de análises químicas de espectrometria por fluorescência de raios X e difratometria de raios X, a viabilidade técnica da utilização somente de resíduos para fabricação do APF. A segunda fase, também com oito formulações, definidas conforme planejamento de experimentos com delineamento fatorial testou os efeitos principais e as interações duplas e triplas entre os formadores do APF, para obtenção da formulação ótima. A terceira fase, com seis formulações, testou a intensidade das variáveis, coque e fluorita cerâmica, na remoção do zinco. As duas primeiras fases dos testes de produção em escala experimental foram realizados em uma planta piloto de sinterização de fluxo descendente e a terceira fase em uma planta piloto de fluxo ascendente, ambas instaladas na usina ArcelorMittal Piracicaba.

4.5.3.1 Produção do aglomerado pré-fundido (APF) em escala experimental – primeira fase

As matérias primas para a composição da mistura 1 foram separadas e pesadas em uma balança Balmak, modelo ELC – 6/15/30, série 006.292/2010, considerando uma mistura total de 70 kg. As matérias primas foram colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 5 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 5,39 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 7,120 kg de agregado

siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 47,415 kg de mistura, foi separado 1,024 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,146 kg de carvão para ignição da mistura 1. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 – Tempo de sinterização por perda de carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1190	70
14	1180	70
16	1180	80
18	1100	150
19	1000	320
20	850	450
21	850	450
22	800	440
23	800	430
24	750	420
25	700	400
26	700	350
28	700	290
30	700	240
35	700	140
40	820	100
45	880	80
50	900	70

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 1 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na Tabela 8 a seguir, o peso do APF produzido foi 39,967 kg, foi separado 0,810 kg de APF para análises químicas:

Tabela 8 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 1

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	5,332
9,5	11,020
6,5	7,705
< 6,5	15,910

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 1 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 47,415 kg
- Peso do APF: 39,967 kg
- Peso da água: 0,038 kg
- Peso do coque: 2,100 kg

Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 42,105

Perda de massa = peso da mistura – 42,105 = 5,31 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 11,19%. Os principais elementos voláteis são o ZnO, PbO, CdO, K₂O e Na₂O, como será demonstrado na seção 5 – Resultados e Discussões.

Os dados de produção dos demais APF's experimentais podem ser verificados no Apêndice E. Os parâmetros dos experimentos podem ser vistos na Tabela 9, a seguir:

Tabela 9 – Relação dos parâmetros dos experimentos – primeira fase

Parâmetros	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3 R1	Exp. 4R1	Exp. 5R1	Exp. 6R1	Exp. 7R1	Exp. 8 R1
Peso misturas (Kg)	47,415	46,920	51,254	43,465	49,356	52,265	44,988	45,350
Peso APF's (Kg)	39,967	38,553	43,682	37,538	40,920	41,254	37,960	38,621
Peso água (Kg)	0,038	0,050	0,020	0,022	0,028	0,032	0,056	0,032
Umidade (%)	5,39	6,37	3,24	5,09	6,93	3,68	7,80	3,32
Peso coque (Kg)	2,100	2,100	2,100	3,500	3,500	3,500	2,100	2,100
Perda de massa (Kg)	5,310	6,217	5,432	2,405	4,908	7,479	4,872	4,957
Voláteis (%)	11,19	13,25	10,63	6,02	9,94	14,31	10,82	10,13

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

4.5.3.2 Produção do aglomerado pré- fundido (APF) em escala experimental – segunda fase

A segunda fase de produção do APF em escala experimental, também com oito formulações, foi definida conforme planejamento de experimentos com delineamento fatorial, de acordo com a Tabela 10, que objetivou verificar a influência dos componentes do APF para se obter a mistura com formulação ótima para se alcançar o máximo percentual de óxido de ferro e o mínimo percentual de óxido de zinco. Em seguida, foi efetuada análise dos efeitos principais, interações duplas e triplas dos elementos que compõem o APF conforme o Planejamento de Experimentos no Apêndice F. Esta análise foi a base para se estruturar a composição das misturas da terceira fase.

Tabela 10 – Planejamento de experimentos com delineamento fatorial

No. de ensaios	Carepa (%)	Pó de forno elétrico (%)	Coque(%)	Fluorita (%)
1	54	35	5	6
2	39	50	5	6

3	52	35	7	6
4	37	50	7	6
5	51	35	5	9
6	36	50	5	9
7	48	35	7	9
8	34	50	7	9

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

Os dados de produção dos APF's da segunda fase podem ser verificados no Apêndice G. Os parâmetros dos experimentos podem ser visto na Tabela 11, a seguir:

Tabela 11 – Relação dos parâmetros dos experimentos – segunda fase

Parâmetros	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8
Peso misturas (Kg)	46,215	44,805	49,014	47,920	51,990	50,670	52,890	45,350
Peso APF's (Kg)	38,814	37,811	40,050	38,255	42,998	43,100	41,890	-
Peso água (Kg)	0,032	0,032	0,024	0,034	0,034	0,034	0,020	0,032
Umidade (%)	4,10	7,20	3,94	5,62	4,28	3,65	3,06	3,32
Peso coque (Kg)	3,500	3,500	4,900	4,900	3,500	3,500	4,900	2,100
Perda de massa (Kg)	7,401	6,994	8,964	9,665	8,987	7,570	11,000	-
Voláteis (%)	16,01	15,60	18,28	20,16	17,28	14,93	20,79	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

4.5.3.3 Produção do aglomerado pré- fundido (APF) em escala experimental – terceira fase

A terceira fase testou a intensidade das variáveis, coque e fluorita cerâmica, para remoção do óxido de zinco do APF em uma planta piloto de fluxo ascendente. A composição das misturas na terceira fase teve como base a formulação do experimento 7 da segunda fase (35% de pó de forno elétrico, 49% de carepa, 9% de fluorita cerâmica e 7% de coque), onde

se obteve o menor percentual de óxido de zinco no APF (5,87%), porém sem a utilização de carepa. Assim sendo, o experimento inicial da terceira fase, denominado experimento 1, foi composto de 70% de pó de forno elétrico, 20% de coque e 10% de fluorita cerâmica. Neste experimento, a análise de composição química do APF foi realizada inicialmente no espectrômetro de fluorescência de raios X, modelo Axios, da ArcelorMittal de Piracicaba. Posteriormente, foram preparadas mais seis misturas conforme a Tabela 12 a seguir, quando os experimentos foram divididos em dois grupos, um com o percentual de coque fixado em 20% e o outro com percentual fixado em 7%; a fluorita cerâmica, cujo melhor resultado em termos de remoção de óxido de zinco na segunda fase se situou em 9%, teve percentuais de 5, 10 e 15%, em cada um dos grupos; o pó de forno elétrico complementou a composição das misturas com percentuais de 75, 70, 65, 88, 83 e 78%, respectivamente (na segunda fase os percentuais de pó de forno elétrico foram 35% e 50%).

Tabela 12 – Planejamento de experimentos – terceira fase

Nº de ensaios	Pó de forno elétrico (%)	Coque(%)	Fluorita (%)
1	80	20	05
2	70	20	10
3	65	20	15
4	88	07	05
5	83	07	10
6	78	07	15

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

As matérias primas para a composição da mistura 1 foram separadas e pesadas em uma balança Micheletti, modelo MIC 15, série 3080/2007, classe III, considerando uma mistura total de 10 kg. As matérias primas foram colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 7 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A mistura foi seca ao ar ambiente durante 24 horas. Para esta fase dos experimentos foi montada uma planta piloto de fluxo ascendente, conforme pode ser visto no Apêndice

H. Os demais experimentos seguiram roteiro similar ao acima descrito, com a sinterização de 7 kg de mistura de cada experimento, conforme Apêndice I.

Para estes experimentos se esperava, e de fato ocorreu, uma grande perda de massa devido aos altos percentuais de voláteis (coque e flúor) presentes na composição das pelotas e que podem ser verificados na Tabela 13, a seguir:

Tabela 13– Relação dos parâmetros dos experimentos – terceira fase

Parâmetros	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6
Peso misturas (Kg)	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Peso APF's (Kg)	5,390	5,056	5,710	5,920	6,004	5,780
Perda de massa (Kg)*	2,610	2,944	2,290	2,080	1,996	2,220
Voláteis (%)	32,62	36,80	28,62	26,0	24,95	27,75

*Adição de 1 kg de coque para ignição

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

4.6 Produção do aglomerado pré- fundido (APF) em escala industrial

O APF foi produzido na planta de sinterização da Metalflexi, com a composição da mistura do experimento 7, definida na segunda fase de experimentos. A produção do APF passou pelas várias etapas do processo determinadas pela queima do combustível ocorridas na zona de combustão com ciclos variando de 500 °C até 1.250 °C e redução até 900 °C. Nesta etapa ocorreu a decomposição dos carbonatos e as reações no estado sólido ou semilíquido, pela fusão parcial da mistura com a formação dos ferritos de cálcio, dos silicatos e a redução dos óxidos de ferro. Após ser atingida a temperatura máxima do processo ocorreu a reoxidação parcial da wustita e da magnetita em uma atmosfera altamente oxidante até o início do resfriamento (900 °C) quando cessaram as reações. As reações que ocorreram durante a sinterização das misturas foram as seguintes:

As reações de recristalização foram:

Em todo este mecanismo de reações endotérmicas, a transferência de calor entre as camadas (forçadas pela injeção de ar) foi determinada pela combustão dos finos de combustível da mistura, sendo essencial assegurar que a propagação da frente de queima, controlada pela reatividade do combustível e pela concentração do oxigênio, coincidissem com a propagação da frente de calor, controlada pela vazão de ar que atravessa as camadas.

Após o processo de sinterização e de resfriamento, o APF passou por um processo de britagem e peneiramento para atingir a granulometria adequada para o consumo em altos-fornos de pequeno porte, entre 5 e 50 mm.

4.7 Testes industriais no alto forno

Os testes industriais do APF foram efetuados na usina CSI Siderúrgica Irineu Ltda, que se localiza na Rua José Menezes, 125. Bairro Industrial, Matozinhos, Minas Gerais. A CSI possui 100 empregados, um alto forno com volume útil de 60 m³ e capacidade nominal instalada de 40.000 t.ano⁻¹ de ferro gusa de aciaria. Para a utilização em alto-forno exige-se

uniformidade e, principalmente, isenção de finos, faixa granulométrica estreita e suficiente resistência mecânica para assegurar boa permeabilidade à coluna de carga (ARAÚJO, 1997).

4.7.1 Características do alto-forno da CSI

O alto forno da CSI, um reator de pequeno porte conforme a figura 15, utilizado nos testes de produção do APF possui as características apresentadas na Tabela 14, a seguir:

Tabela 14 – Características do alto-forno da CSI

Parâmetros	Unidade	Valor
Temperatura de sopro	°C	730
Relação de minério/carvão	kg/kg	2,20
Taxa de injeção	kg/tgusa	92
Taxa de carbono	kg/tgusa	58
Taxa de substituição	kg/kg	0,95
Enriquecimento de O ₂	%	1

Fonte: CSI, 2013

Figura 15: Alto forno de pequeno porte da CSI Siderúrgica Irineu Ltda., com volume útil de 60 m³ e capacidade nominal instalada de 40.000 t.ano⁻¹ de ferro gusa de aciaria.

Fonte: CSI, 2013

A CSI realizou os testes com adição com 5% de APF na carga de 900 kg, durante os meses de agosto e setembro de 2013 e não foram registradas anomalias no processo e a composição química do gusa não apresentou alterações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta primeiramente os resultados das análises das fases cristalinas por difratometria de raios – X (DRX) e as análises químicas por fluorescência de raios – X (FRX) de todas as substâncias que compõem a mistura de formulação do APF. As análises foram efetuadas pelo LCT da USP e para o pó de forno elétrico foram confirmadas pela UFOP, que efetuou ainda a análise quantitativa das fases mineralógicas através da espectroscopia Mossbauer. Em seguida, são apresentados os resultados das análises de DRX e FRX das misturas e APF's de todas as três fases da pesquisa. As amostras de misturas e dos APF's também foram submetidas a ensaios de lixiviação, conforme a Norma ABNT NBR 10005:04, para evidenciar a classificação das misturas como resíduos Classe 1 e os APF's como resíduos Classe 2A. Finalmente, foram efetuadas as análises de MEV para se verificar a morfologia e aspecto topográfico dos APF's e Rietveld para se obter a quantificação das fases.

5.1 Pó de forno elétrico a arco

O pó de forno elétrico a arco (FEA) amostrado possui densidade real de $4,47 \text{ g/cm}^3$ e granulometria em 10, 50 e 90% da curva de distribuição do tamanho de partículas de $1,05 \text{ }\mu\text{m}$; $4,00 \text{ }\mu\text{m}$ e $25 \text{ }\mu\text{m}$ respectivamente (Ver Anexo B – CCDM Análise Granulométrica em Amostras Cerâmicas). Este resultado difere pouco dos informados por Mantovani, Takano e Cavallante (1998) e Sofilic et al (2004), que afirmam que 60% da distribuição granulométrica das partículas variam entre $0,90 \text{ }\mu\text{m}$ e $4,30 \text{ }\mu\text{m}$ e o diâmetro médio de $1,88 \text{ }\mu\text{m}$. Entretanto, deve ser ressaltado que a ArcelorMittal, unidade de Piracicaba, empresa da qual o pó de forno elétrico é objeto de estudo desta pesquisa, tem como característica principal do seu processo, a fabricação exclusiva de barras laminadas para construção civil de aço comum ao carbono. O difratograma de raios X do pó de forno elétrico apontou a presença de magnetita e/ou franklinita, jacobsonita, zincita, silvita, halita e quartzo, conforme listado na Tabela 15, e que pode ser visto na figura 16. Este resultado é consistente com os apresentados por Kanari et al (2002); Dominguez e Ulmann (1996); Xia e Pickles (1999), quando demonstraram para diversas amostras de pó de forno elétrico, que o principal constituinte é a franklinita, seguida

pela ferrita de cálcio e a magnetita. O resultado também está de acordo com os encontrados por Brocchi, Santos e Araújo (2007), que confirmaram a prevalência da franklinita.

Tabela 15 - Identificação das fases cristalinas do pó de forno elétrico

ICDD	Nome do Composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1355	Magnetita	$\text{Fe}_{2,942}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,73}\text{Mn}_{0,28}\text{Zn}_{0,01}\text{Fe}_{1,90})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-079-0208	Zincita	ZnO	Zincita	
01-075-0296	Silvita	KCl	Silvita	
01-072-1668	Halita	NaCl	Halita	
01-086-1628	Quartzo	SiO_2	Quartzo	

Fonte: LCT, USP (2012)

Figura 16 - Difratoograma de raios – X do pó de FEA, onde estão assinaladas as linhas de difração correspondentes às fases identificadas, cada fase tem uma cor distinta. A distinção das fases e das cores correspondentes pode ser melhor observada na Figura 17.

Fonte: LCT, USP (2012)

Pode ser observado que nas fases identificadas a magnetita, a franklinita e a Jacobsita apresentam sobreposição, conforme a figura 17, a seguir.

Figura 17 – Identificação de fases do pó de FEA. As fases mais frequentes são a magnetita (vermelho), franklinita (preto), jacobsita (verde) e zincita (cinza). Os picos das três primeiras fases ocorrem em um mesmo ponto causando a sobreposição.

Fonte: LCT, USP (2012)

A análise mineralógica do pó de forno elétrico foi repetida pelo Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e comprovou a análise realizada pelo LCT – EPUSP, conforme a figura 18. A difração de raios – X mostrou a existência de magnetita (Fe_3O_4), franklinita ($(\text{Zn}_{0,7}\text{Mn}_{0,4})\text{Fe}_{1,9}\text{O}_4$), zincita (ZnO) e scotlandita (PbSO_3). A UFOP efetuou ainda a análise quantitativa das fases mineralógicas através da espectroscopia Mossbauer, conforme figura 19:

Figura 18 - Difratoograma de raios – X do pó de FEA realizada pela UFOP confirmando a análise realizada pelo LCT da Escola Politécnica da USP. A difração de raios X mostrou a existência de magnetita, franklinita, zincita (ZnO) e scotlandita (PbSO₃). A existência de quartzo foi proposta, mas pode ser que exista algum silicato no lugar de quartzo. O cálculo estequiométrico a partir do teor de chumbo resulta em cerca de 3% de scotlandita.

Fonte: UFOP (2012)

Figura 19 - Espectroscopia Mossbauer do pó de FEA. Os dados da espectroscopia Mossbauer mostram que a maior parte do ferro está na franklinita, e não na magnetita.

Fonte: UFOP (2012)

O teor de ferro total na análise química foi de 41,1%. Então o teor de ferro na magnetita é de 9% e na franklinita é de 91% conforme a espectroscopia Mossbauer. Portanto, na amostra existe 5% de magnetita e 84% de franklinita. Para este cálculo a fórmula utilizada para a franklinita foi $(\text{Zn}_{0,7}\text{Mn}_{0,4})\text{Fe}_{1,9}\text{O}_4$. A espectroscopia Mossbauer não mostrou a presença de hematita e nem de wustita. O cálculo estequiométrico a partir do teor de chumbo resultou em cerca de 3% de scotlandita, PbSO_3 .

5.1.1 Resultados da análise química

O espectrômetro por fluorescência de raios - X do pó de FEA apresentou a predominância da hematita com 58,8% e da zincita com 9,7%, além de teores significativos de álcalis, Na_2O com 2,17% e K_2O com 1,76% conforme a Tabela 16, a seguir:

Tabela 16 - Análise química do pó de forno elétrico a arco

Parâmetro	% p/p
Al_2O_3	0,36
CaO	3,02
Cl	3,93
SiO_2	3,53
Cr_2O_3	0,30
CuO	0,40
Fe_2O_3	58,8
K_2O	1,76
MgO	1,16
MnO	2,78
Na_2O	2,17
NiO	0,05
P_2O_5	0,35
PbO	2,39
ZnO	9,70
SO_3	1,16
PF	7,61

Fonte: LCT, USP (2012)

Tanto na difração de raios X, quanto na análise química do pó de FEA se observa a presença de zinco. Os percentuais de franklinita e zincita presentes no pó de forno elétrico estão relacionados, segundo a bibliografia citada por Telles (2010), pela maior ou menor presença de zinco no pó de forno elétrico. Assim sendo, quanto menor o teor de zinco, maior é a concentração de franklinita, isto é, mais o zinco se encontra associado ao ferro na forma de ferritas e quanto maior o teor de zinco, maior é a concentração de zincita. O experimento de Machado et al (2006), utilizando duas amostras de pó de forno elétrico, uma com 12% de zinco e outra contendo 9,24%, confirmou os resultados da literatura. Na amostra de 12% de zinco, a franklinita ficou com 55% e a zincita 45%, na amostra de 9,24% de zinco, a franklinita ficou em 84% e a zincita em 16%.

A utilização do APF com alto teor de zinco traz como consequência o trincamento dos refratários dos altos fornos pela formação do aluminato de zinco, conforme a seguinte reação:

Além disso, a baixa temperatura de ebulição do zinco conjugada com a atmosfera redutora e as altas pressões internas dos altos fornos levam a formação do ciclo do zinco. O ZnO é reduzido e o Zn se volatiliza na parte inferior do forno, onde as temperaturas são mais elevadas. Este Zn(g) se deposita na parte superior, de menores temperaturas. A consequência é a formação de incrustações na parede refratária dos fornos, reduzindo a área para o escoamento dos gases gerados, alterando significativamente a permeabilidade e reduzindo a produtividade.

A análise química demonstra a presença de óxidos de zinco, chumbo, cádmio, álcalis (Na_2O e K_2O) e cloro no pó de forno elétrico, todos estes elementos são prejudiciais ao processo siderúrgico, conforme Asanuma et al. (2000) e Gorni (2006). O cloro é proveniente da pintura da sucata, e a presença de SiO_2 , CaO , MgO e Al_2O_3 é devido ao arraste da escória e materiais adicionados durante a operação (SILVA et al, 2004). Os mais críticos são o zinco e os álcalis que são altamente voláteis, ver Tabela 17, a seguir, e podem ser reoxidados nos gases de saída. A diferença básica entre o comportamento do zinco e dos álcalis é que o zinco forma silicatos estáveis e os álcalis não.

Tabela 17 – Temperaturas de fusão e ebulição do zinco, chumbo e álcalis

Elementos Químicos	Temperatura de fusão (°C)	Temperatura de Ebulição (°C)
Zn	420	907
Na	98	882
K	63	779
Pb	327	1749

5.2 Pó de forno panela

O pó de forno panela possui densidade real de $3,08 \text{ g/cm}^3$ e granulometria em 10, 50 e 90% da curva de distribuição do tamanho de partículas de $1,00 \text{ }\mu\text{m}$, $3,60 \text{ }\mu\text{m}$ e $14 \text{ }\mu\text{m}$ respectivamente (Ver Anexo B). O difratograma de raios X do pó de forno panela apontou a presença de periclásio, fluorita, grafite, magnetita e hematita e a provável presença de sulfato de potássio e sódio, conforme listado na Tabela 18 e pode ser visto na figura 20, a seguir:

Tabela 18 - Identificação das fases cristalinas do pó de forno panela

ICDD	Nome do Composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-078-0430	Periclásio	MgO	Periclásio	
01-077-2094	Fluorita	CaF ₂	Fluorita	
00-025-0284	Grafite	C	Grafite	
01-086-1335	Magnetita	Fe _{2,942} O ₄	Magnetita	
01-073-0603	Hematita	Fe ₂ O ₃	Hematita	
01-074-0398	Sulfato de potássio e sódio	K ₃ Na(SO ₄) ₂		Possível presença

Fonte: LCT, USP (2012)

Figura 20 – O difratograma de raios – X do pó de forno panela mostra a prevalência do MgO, seguida do carbono e da fluorita. O composto MgO é adicionado no forno panela para controle da basicidade da escória e a fluorita para tornar a escória líquida e com fluidez adequada, proporcionando a interação entre o banho metálico e a escória. A presença do grafite provavelmente está relacionado aos eletrodos (3) do forno panela, utilizados para geração do arco elétrico e fabricados com grafite.

Fonte: LCT, USP (2012)

As fases cristalinas identificadas podem ser vistas na figura 21, a seguir.

Figura 21 – Fases cristalinas identificadas no pó de forno panela, obtidas por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD – International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007). As fase predominantes são o óxido de magnésio ou periclásio (MgO) em verde, a fluorita em azul e o grafite em cinza.

Fonte: LCT, USP (2012)

5.2.1 Resultados da análise química

O espectrômetro por fluorescência de raios - X do pó de forno panela apresentou a predominância de periclásio com 23,6% e dolomita com 20,5%. A hematita apareceu com 9,89% e houve também forte presença de álcalis, K_2O com 4,97% e Na_2O com 1,15%, conforme a Tabela 19, a seguir:

Tabela 19 - Análise química do pó de forno panela

Parâmetro	% p/p
Al_2O_3	0,83
CaO	20,5
Cl	0,47
SiO_2	8,25
F	3,96
CuO	0,09
Fe_2O_3	9,89
K_2O	4,97
MgO	23,6
MnO	9,27
Na_2O	1,15
NiO	0,02
P_2O_5	0,07
PbO	0,15
ZnO	0,68
SO_3	6,90
PF	8,87

Fonte: LCT, USP (2012)

5.3 Fluorita cerâmica

A fluorita cerâmica possui densidade real de $2,49 \text{ g/cm}^3$ e granulometria em 10, 50 e 90% da curva de distribuição do tamanho de partículas de $2,40 \text{ }\mu\text{m}$; $15,60 \text{ }\mu\text{m}$ e $25 \text{ }\mu\text{m}$ respectivamente (Ver Anexo B). O difratograma de raios X da fluorita cerâmica apontou a

presença de fluorita, calcita e brucita e a provável presença de quartzo e enxofre, conforme listado na Tabela 20 e pode ser visto na figura 22, a seguir:

Tabela 20 - Identificação das fases cristalinas da fluorita cerâmica

ICDD	Nome do Composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-077-2094	Fluorita	CaF_2	Fluorita	
01-083-1762	Calcita	CaCO_3	Calcita	
01-076-0667	Brucita	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	Brucita	
01-085-0797	Quartzo	SiO_2	Quartzo	Possível presença
01-083-1604	Enxofre	S		Possível presença

Fonte: LCT, USP (2012)

Figura 22 - O difratograma de raios – X da fluorita cerâmica mostra a prevalência dos compostos Calcita e Fluorita. Estes compostos estão relacionados à própria formação da fluorita cerâmica, reação do gás fluorídrico (HF) gerado na queima da argila para fabricação de pisos cerâmicos, com o óxido de cálcio (CaO) da cal hidratada impregnado nos filtros de manga, para controle de emissões do HF.

Fonte: LCT, USP (2012)

As fases cristalinas identificadas podem ser vistas na figura 23, a seguir.

Figura 23 – Fases cristalinas identificadas da fluorita cerâmica, as fase predominantes são a calcita (CaCO_3) em vermelho e a fluorita em azul. A brucita (Mg(OH)_2), em verde também é identificada.

Fonte: LCT, USP (2012)

5.3.1 Resultados da análise química

O espectrômetro por fluorescência de raios X da fluorita cerâmica apresentou a predominância da dolomita com 78,4% e do flúor com 13,4%. O periclásio se apresentou com 3,43%, conforme a Tabela 21, a seguir:

Tabela 21 – Análise química da fluorita cerâmica

Parâmetro	% p/p
Al_2O_3	0,23
CaO	78,4
Cl	1,34
SiO_2	1,33
F	13,4
CuO	Nd
Fe_2O_3	0,25
K_2O	0,20
MgO	3,43
MnO	0,02
Na_2O	Nd
NiO	Nd
P_2O_5	0,07
PbO	Nd
ZnO	0,01

SO ₃	1,12
SrO	0,20

nd = elemento não detectado

Fonte: LCT, USP (2012)

5.4 Carepa

A carepa possui densidade real de 5,22 g/cm³ e granulometria em 10, 50 e 90% da curva de distribuição do tamanho de partículas de 4,80 µm; 27,00 µm e 50 µm respectivamente (Ver Anexo B). O difratograma de raios X da carepa apontou a presença de wustita, magnetita e quartzo e a provável presença de mulita, conforme listado na Tabela 22 e podem ser vistas na figura 24, a seguir:

Tabela 22 – Identificação das fases cristalinas da carepa

ICDD	Nome do Composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-074-1881	Wustita	Fe _{0,957} O	Wustita	
01-089-2355	Magnetita	Fe ₃ O ₄	Magnetita	
01-078-1259	Quartzo	SiO ₂	Quartzo	
00-002-1160	Mulita	3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂	Mulita	Possível presença

Fonte: LCT, USP (2012)

Figura 24 - O difratograma de raios – X da carepa mostra a prevalência dos compostos wustita ((FeO), magnetita (Fe₃O₄) e quartzo (SiO₂). Estes compostos são constituintes do aço, do qual a

carepa deriva nos processos de lingotamento contínuo (passagem do tarugo pelos rolos extratores) e de laminação a quente (fornos de reaquecimento e cilindros das cadeiras de laminação).

Fonte: LCT, USP (2012)

As fases identificadas podem ser vistas na figura 25, a seguir.

Figura 25 - Fases cristalinas identificadas da carepa, as fases predominantes são o óxido de ferro nos estados de wustita (FeO) em vermelho e de magnetita (Fe_3O_4) em azul, ambas fases apresentam estrutura cristalina CFC (cúbica de face centrada) e o quartzo ou sílica (SiO_2) em verde.

Fonte: LCT, USP (2012)

5.4.1 Resultados da análise química

O espectrômetro por fluorescência de raios X da carepa apresentou a predominância praticamente integral da hematita com 96,8%. A sílica se apresentou com 1,07%, conforme a Tabela 23, a seguir:

Tabela 23 – Análise química da carepa

Parâmetro	% p/p
Al_2O_3	0,31
CaO	0,25
Cl	0,02
SiO_2	1,07
F	Nd
CuO	0,16
Fe_2O_3	96,8
K_2O	0,02
MgO	0,14

MnO	0,53
Na ₂ O	0,08
NiO	0,08
P ₂ O ₅	0,13
PbO	0,01
ZnO	0,05
SO ₃	0,27
Cr ₂ O ₃	0,08

nd = elemento não detectado

Fonte: LCT, USP (2012)

5.5 Coque verde de petróleo

O Coque de petróleo, do inglês “petcoke” é o produto sólido resultante da destilação do petróleo, obtido a partir do craqueamento das frações residuais pesadas. É material sólido com densidade real de 2,07 g/cm³ e granulometria que varia de 10 a 80 Mesh, com prevalência na malha 80 com 47,72%, conforme pode ser visto no Anexo B. No Brasil é popularmente conhecido como petrocoque.

O coque é um material amorfo evidenciado pela existência de uma banda larga característica entre 15 e 30° de 2θ, conforme o difratograma de raios – X da figura 26, a seguir:

Figura 26 - Difratograma de raios – X do coque verde de petróleo, não foram identificadas fases cristalinas, pois o material é amorfo.

Fonte: LCT, USP (2012)

5.5.1 Resultados da análise química do coque verde de petróleo

Embora, a composição característica do coque verde de petróleo seja 87,05% de carbono fixo calculado, o espectrômetro por fluorescência de raios X do coque apresentou a predominância do trióxido de enxofre, SO_3 com 67,3% e da hematita com 18,5%., conforme a Tabela 24, a seguir:

Tabela 24 – Análise química do coque verde de petróleo

Parâmetro	% p/p
Al_2O_3	1,30
CaO	1,81
Cl	Nd
SiO_2	4,10
TiO_2	0,25
CuO	0,08
Fe_2O_3	18,5
K_2O	0,50
MgO	0,14
MnO	0,30
Na_2O	0,08
NiO	2,35
P_2O_5	0,05
V_2O_5	2,12
ZnO	0,29
SO_3	67,3
Cr_2O_3	0,76

nd = elemento não detectado

Fonte: LCT, USP (2012)

5.6 Primeira fase de experimentos: Misturas

O resultado de identificação das fases mineralógicas das misturas, por difratometria de raios X, apresentou a presença de franklinita, wustita e hematita, entre outras fases, como pode ser visto na Tabela 25 e Anexo C. A presença da wustita e da hematita é explicada pelo uso da carepa de aço na composição da mistura, pois conforme já visto a espectroscopia Mossbauer não mostrou a presença destas fases no pó de forno elétrico.

Tabela 25 – Identificação das fases mineralógicas das misturas

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Franklinita	x	x	x	X	x	x	x	x
Wustita	x	x	x	X	x	x	x	x
Óxido de ferro (Hematita)	x	x	x	X	x	-	-	-
Zincita	x	x	x	X	x	-	-	-
Óxido de chumbo	x	x	-	-	-	-	-	-
Calcita	x	-	x	-	-	-	-	-
Halita	x	x	x	X	x	x	x	x
Silvita	X	x	x	X	x	x	x	x
Quartzo	x	x	x	X	x	x	x	X

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

5.6.1 Resultados das análises químicas das misturas

Os resultados das análises químicas das misturas, conforme pode ser visto na Tabela 26, a seguir, e Anexo D mostram que o aumento de percentual de carepa na formulação da mistura aumenta o percentual de hematita, com era de se esperar. O experimento 4 com 55% de carepa e 35% de pó de forno elétrico apresentou o maior percentual de hematita (70,0%), seguido do experimento 3, com 46,5% de carepa e 45% de pó de forno elétrico que apresentou 69,9% de hematita. Os maiores percentuais de pó de forno elétrico dos

experimentos 7 e 8, com 50% na mistura, apresentaram os maiores teores de Zincita, 14,6% e 14,7%, como era de se esperar também.

Tabela 26 – Análise química (FRX) das misturas dos experimentos

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Al ₂ O ₃	0,36	0,41	0,33	0,30	0,31	0,33	0,34	0,32
CaO	7,14	7,56	5,18	5,35	5,47	5,22	5,93	4,96
Cl	1,37	1,54	1,70	1,30	1,55	1,58	1,73	1,63
SiO ₂	2,94	3,39	2,49	2,36	2,54	2,73	2,95	2,82
F	0,22	0,70	0,10	0,24	0,24	0,07	0,05	0,02
CuO	0,18	0,16	0,19	0,19	0,19	0,19	0,21	0,22
Fe ₂ O ₃	65,1	60,3	69,9	70,0	68,5	66,2	62,6	64,9
K ₂ O	1,08	1,16	0,87	0,70	0,79	0,82	0,92	0,90
MgO	3,66	4,34	1,30	1,25	1,22	1,29	1,29	1,19
MnO	1,45	1,53	1,11	1,05	1,06	1,20	1,31	1,28
Na ₂ O	2,38	4,09	2,02	3,79	4,05	4,15	4,39	3,12
NiO	0,14	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,06	0,05
P ₂ O ₅	0,23	0,27	0,28	0,27	0,28	0,29	0,33	0,30
PbO	1,04	1,15	1,29	1,09	1,20	1,37	1,65	1,62
ZnO	9,24	10,4	11,4	10,3	10,8	12,7	14,6	14,7
TiO ₂	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,08	0,08
Cr ₂ O ₃	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,21
WO ₃	1,05	0,65	0,31	0,22	0,25	0,24	nd	0,22
SO ₃	1,79	1,89	1,11	1,19	1,11	1,22	1,20	1,20
Br	0,08	0,10	0,10	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14

nd – elemento não detectado

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

5.7 Primeira fase de experimentos - Aglomerado pré-fundido (APF)

O resultado de identificação das fases mineralógicas dos APF's, por difratometria de raios X, e a quantificação pelo método de Rietveld apresentou a presença de franklinita, wustita e hematita, entre outras fases, como pode ser visto na Tabela 27 e Anexo C. A diferença substancial da fase cuspidina pode ser explicada pela supressão do pó de forno

panela nos APF's de 3 a 8. Foi acrescentada uma coluna com as fases mineralógicas presentes no pó de forno elétrico objetivando fazer comparação quantitativa com as fases dos APF's. A presença das fases wustita e hematita podem ser explicadas pela presença de carepa de aço na composição dos APF's. Deve ser observado que as fases que contem álcalis não foram detectados nos APF's e, portanto, deve ser esperado encontrá-las no material volatilizado. O maior percentual de pó de forno elétrico tende a corresponder ao maior percentual da fase franklinita.

Para Toda et al.(1984), a hematita é formada por partículas que não reagiram no processo de sinterização, pois atuaram como núcleo ou por partículas que reagiram e que foram recristalizadas a partir da fase líquida ou foram formadas pela oxidação da magnetita durante o resfriamento.

Tabela 27 – Identificação e quantificação de fases dos APF's

Parâmetro	Pó de Forno Elétrico	APF 1	APF 2	APF 3	APF 4	APF 5	APF 6	APF 7	APF 8
Franklinita (ZnFe_2O_4)	84%	84%	80%	88%	73%	81%	93%	97%	86%
Wustita (FeO)	nd	nd	3%	nd	4%	4%	nd	nd	2%
Hematita (Fe_2O_3)	nd	nd	nd	6%	7%	< 1%	<1%	1%	5%
Halita (NaCl)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Silvita (KCl)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Quartzo (SiO_2)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Magnesita (MgCO_3)	nd	2%	2%	3%	3%	3%	3%	2%	3%
Cuspidina ($\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$)	nd	14%	15%	3%	9%	12%	4%	nd	4%

nd – elemento não detectado

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

5.7.1 Resultados das análises químicas dos APF's

Os resultados das análises químicas dos APF's, conforme pode ser visto na Tabela 28, a seguir, demonstram em relação aos elementos de interesse, óxidos de ferro e zinco, que o experimento 5 apresentou o maior percentual de hematita, 76,8%. Este experimento tinha na sua composição 40% de pó de forno elétrico, 49% de carepa, 6% de fluorita e 5% de coque. Enquanto o menor percentual de hematita, 68,8%, ocorreu no experimento 8, composto de 50% de pó de forno elétrico, 40% de carepa, 5% de fluorita e 5% de coque. Como esperado quanto maior o percentual de carepa, maior o percentual de hematita, o maior percentual de flúor parece ter contribuído também para este resultado. Quanto a presença de óxido de zinco no APF, o experimento 4 apresentou o menor percentual de zincita, 6,16%. Este experimento foi composto por 35% de pó de forno elétrico, 55% de carepa, 5% de fluorita e 5% de coque. Já o experimento 7 apresentou o maior percentual de zincita, 11,8%. Este experimento foi composto por 50% de pó de forno elétrico, 41,5% de carepa, 5,5% de fluorita e 3% de coque. Os resultados demonstram que o maior percentual de pó de forno elétrico contribuiu para que houvesse maior percentual de zincita no experimento 7, da mesma forma o menor percentual de coque levou a menor extração da zincita deste experimento. Aparentemente a pequena diferença de percentuais de fluorita entre os dois experimentos, não contribuiu para qualquer inferência. Os boletins de análise dos APF's por FRX podem ser vistos no Anexo D.

Tabela 28 – Análise química (FRX) dos APF's dos experimentos

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Al ₂ O ₃	0,29	0,28	0,25	1,52	0,20	0,29	0,25	1,13
CaO	7,28	7,67	5,66	9,27	6,15	5,76	5,61	7,56
Cl	0,04	0,03	0,04	0,07	0,05	0,14	0,06	0,11
SiO ₂	4,89	5,08	3,76	7,17	3,86	4,21	3,57	6,44
F	0,84	0,03	nd	nd	0,03	nd	0,02	nd
CuO	0,14	0,15	0,12	0,11	0,15	0,16	0,12	0,13
Fe ₂ O ₃	72,7	71,9	75,7	70,1	76,8	74,1	74,5	68,8
K ₂ O	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,09	0,04	0,07
MgO	1,97	2,00	0,77	1,87	0,58	0,82	0,85	1,71
MnO	1,41	1,53	1,16	1,47	1,09	1,24	1,33	1,69

Na ₂ O	1,87	1,50	1,26	1,04	1,20	1,09	0,83	1,14
NiO	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
P ₂ O ₅	0,33	0,35	0,36	0,38	0,36	0,40	0,34	0,47
PbO	0,11	0,20	0,36	0,13	0,23	0,26	0,25	0,32
ZnO	7,61	8,67	10,1	6,16	8,94	11,0	11,8	9,74
TiO ₂	0,07	0,06	0,05	0,21	0,07	0,08	0,06	0,14
Cr ₂ O ₃	0,17	0,18	0,16	0,22	0,17	0,18	0,18	0,26
WO ₃	nd	0,18	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SO ₃	0,07	0,07	0,03	0,06	0,03	0,12	0,02	0,07
Br	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

nd – elemento não detectado

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

5.7.2 Resultados das análises do extrato lixiviado dos APF's

As amostras de APF's foram submetidas a ensaios de lixiviação, conforme a Norma ABNT NBR 10005:04, para se verificar se o processo de sinterização promoveu a volatilização dos parâmetros que caracterizam o pó de forno elétrico como resíduo perigoso, de acordo com a Norma ABNT NBR 10004:04, Anexo F. A Tabela 29 a seguir, mostra que os experimentos 1, 4, 7 e 8, apresentaram resultados de classificação de resíduo não inerte. Os experimentos 2, 3, 5 e 6 apresentaram o chumbo como único parâmetro acima dos valores máximos permitidos pela Norma (1 mg/L). Os boletins de análise do extrato lixiviado podem ser vistos no Anexo E.

Tabela 29 – Análise do extrato lixiviado dos APF's dos experimentos

Parâmetro (ppm)	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Arsênio	0,053	0,056	0,043	0,015	< 0,01	< 0,01	0,016	< 0,01
Bário	0,479	0,853	0,490	0,598	0,878	1,0	0,247	0,468
Cádmio	< 0,001	< 0,001	0,015	< 0,001	0,309	0,270	0,019	< 0,001
Chumbo	0,906	2,00	1,80	0,80	17	19,1	0,436	0,487
Cromo	< 0,01	0,012	< 0,01	< 0,01	0,016	0,041	< 0,01	< 0,01
Fluoreto	20,7	24,7	6,8	6,9	24,9	19,3	< 5	< 5

Mercúrio	< 5.10 ⁻⁵	< 5.10 ⁻⁵	< 5.10 ⁻⁵	< 5.10 ⁻⁵	< 5.10 ⁻⁵	< 5.10 ⁻⁵	< 5.10 ⁻⁵	< 5.10 ⁻⁵
Prata	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Selênio	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

5.8 Planejamento de experimentos – segunda fase

O sumário dos resultados da primeira etapa de experimentos, conforme Tabela 30, a seguir, levou às seguintes conclusões e que foram testadas na segunda etapa:

- Quanto maior o percentual de pó de forno elétrico na mistura, maior o percentual de óxido de zinco no APF. Este resultado era esperado porque a fonte de zinco está no pó de forno elétrico;
- Quanto maior o percentual de coque na mistura, menor o percentual de óxido de zinco no APF. Este resultado está de acordo com todos os estudos relacionados na bibliografia, que apontam que o principal fator para remoção do óxido de zinco é o aumento da quantidade de coque. Nos experimentos da segunda fase, este resultado foi verificado rigorosamente;
- Quanto maior o percentual de carepa na mistura, maior o percentual de óxido de ferro no APF. Este resultado também era esperado porque a carepa é fonte de ferro;
- Quanto maior o percentual de coque na mistura, maior o percentual de óxido de ferro no APF. Este resultado era esperado porque o aumento do teor de coque na mistura aumenta a extração dos materiais voláteis;
- Quanto maior o percentual de fluorita cerâmica na mistura, maior o percentual de óxido de ferro no APF. Era esperado que o aumento do percentual de fluorita cerâmica elevasse a taxa de remoção de óxido de zinco do APF. Este fator foi verificado com rigor nesta segunda fase de experimentos.

Tabela 30 – Sumário da primeira fase: parâmetros ferro e zinco no APF

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
(%)								
Pó de forno	35	40	45	35	40	45	50	50

elétrico								
Carepa	48,5	43,5	46,5	55	49	45	41,5	40
Coque	3	3	3	5	5	5	3	5
Fluorita cerâmica	5,5	5,5	5,5	5	6	5	5,5	5
ZnO	7,61	8,67	10,1	6,16	8,94	11,0	11,8	9,74
Fe ₂ O ₃	72,7	71,9	75,7	70,1	76,8	74,1	74,5	68,8

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

Assim sendo, o planejamento do experimento contemplou composições de misturas com:

- Coque: 5 e 7%;
- Fluorita cerâmica: 6 e 9%;
- Pó de forno elétrico: 35 e 50%;
- Carepa: Complemento dos 100%

A segunda fase de experimentos teve, portanto, três fatores e dois níveis, para os quais objetivamos como resposta de interesse, os percentuais de óxido de zinco na mistura e no APF. O objetivo foi encontrar a taxa ótima de remoção do óxido de zinco. Para três fatores, o planejamento completo de dois níveis exige a realização de 2^3 ensaios diferentes (NETO, SCARMINIO, BRUNS, 2007). Foram preparadas 8 misturas conforme a matriz de planejamento apresentada na Tabela 31 em sequência, posteriormente após a sinterização foram testadas a intensidade de cada variável na remoção do óxido de zinco através da análise dos efeitos principais, interações duplas e triplas (Ver Apêndice F – Planejamento de experimentos):

Tabela 31 – Planejamento de experimentos – segunda fase

Experimentos	Pó de forno elétrico (%)	Carepa (%)	Fluorita cerâmica (%)	Coque (%)
1	35	54	6	5
2	50	39	6	5
3	35	52	6	7
4	50	37	6	7
5	35	51	9	5
6	50	36	9	5

7	35	43	9	7
8	50	34	9	7

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

5.8.1 Segunda fase de experimentos – DRX e FRX das misturas

O resultado de identificação das fases mineralógicas das misturas, por difratometria de raios X, apresentou a presença de franklinita, wustita e hematita, entre outras fases, como pode ser visto na Tabela 32 e no Anexo F – Análises de DRX das misturas, segunda fase.

Tabela 32 – Identificação das fases mineralógicas das misturas

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Franklinita	x	x	x	x	x	x	x	-
Wustita	x	x	x	x	x	x	x	-
Óxido de ferro (Hematita)	x	x	x	x	x	x	x	-
Zincita	-	x	x	-	-	x	x	-
Óxido de chumbo	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcita	-	-	-	-	-	-	-	-
Halita	x	x	x	x	x	x	x	-
Silvita	x	x	x	x	x	x	x	-
Quartzo	x	x	-	x	-	-	-	-
Jacobsita	x	x	x	x	x	x	x	-
Fluorita	x	x	x	-	x	-	x	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

Os resultados das análises químicas das misturas, de acordo coma a Tabela 33, a seguir, e o Anexo G – Análises de FRX das misturas, segunda fase, confirmam que a variação de percentual de carepa na formulação da mistura impacta diretamente na variação do percentual de hematita, maior teor de carepa resulta em maior teor de hematita na mistura. A redução de percentual de carepa não é compensada pelo aumento de percentual de pó de forno elétrico, se for reduzido o percentual de carepa também é reduzido o percentual de hematita na mistura. O experimento 1 com 54% de carepa e 35% de pó de forno elétrico apresentou o

maior percentual de hematita (63,5%), seguido do experimento 3, com 46,5% de carepa e 45% de pó de forno elétrico que apresentou 69,9% de hematita. Os maiores percentuais de pó de forno elétrico dos experimentos 2, 4 e 6, com 50% na mistura, apresentaram os maiores teores de Zincita, 12,9% e 12,4% e 16,5%, da mesma forma nestes mesmos experimentos verificamos os maiores percentuais de óxido de chumbo (PbO), cloro (Cl) e óxidos de potássio (K₂O) e sódio (Na₂O).

Tabela 33 – Análise química (FRX) das misturas – parâmetros de interesse

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Al ₂ O ₃	0,50	0,37	0,31	0,33	0,37	0,35	0,28	-
CaO	3,88	4,72	3,81	4,45	5,68	8,56	6,12	-
Cl	1,27	1,85	1,38	1,64	1,45	1,81	1,40	-
SiO ₂	3,50	2,91	2,55	2,78	2,98	2,82	2,12	-
F	0,42	2,06	1,45	1,50	3,16	2,15	3,30	-
Fe ₂ O ₃	63,5	53,9	63,4	54,8	60,0	46,9	58,3	-
K ₂ O	0,64	0,93	0,67	0,84	0,70	0,85	0,65	-
MgO	1,87	1,96	1,79	1,84	2,26	1,62	1,59	-
MnO	0,89	1,11	0,91	1,09	0,93	1,25	0,91	-
Na ₂ O	3,38	4,32	3,82	4,50	3,50	4,32	3,45	-
P ₂ O ₅	0,23	0,29	0,25	0,30	0,22	0,31	0,22	-
PbO	0,95	1,44	1,07	1,36	1,01	1,82	0,98	-
ZnO	8,39	12,9	9,57	12,4	8,99	16,5	8,63	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

5.8.2 Resultados das análises do extrato lixiviado das misturas

As amostras de misturas foram submetidas a ensaios de lixiviação, conforme a Norma ABNT NBR 10005:04, para evidenciar os parâmetros que caracterizam as misturas como resíduo perigoso, de acordo com a Norma ABNT NBR 10004:04, Anexo F. A Tabela 34 a seguir, mostra que todos os experimentos apresentaram o chumbo e o cádmio como parâmetros acima dos valores máximos permitidos pela Norma (Chumbo 1,0 mg/L e Cádmio 0,5 mg/L). Os boletins de análise podem ser vistos no Anexo H – Análises do extrato lixiviado das misturas, segunda fase.

Tabela 34 – Análise do extrato lixiviado das misturas dos experimentos

Parâmetro (mg/L)	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Arsênio	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Bário	0,548	0,670	0,593	0,357	0,485	0,342	0,746	-
Cádmio	0,994	1,0	1,1	1,2	0,781	1,2	0,931	-
Chumbo	1,8	2,7	3,2	2,5	1,4	2,0	1,8	-
Cromo	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Fluoreto	9,2	9,2	9,6	10	7,7	6,3	6,6	-
Mercúrio	$< 1,5 \cdot 10^{-5}$	$< 1,5 \cdot 10^{-5}$	$< 1,5 \cdot 10^{-5}$	<	<	<	$< 7 \cdot 10^{-5}$	-
		⁵		$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$		
Prata	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Selênio	< 0,008	0,070	0,069	0,073	0,095	0,048	0,036	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

5.8.3 Segunda fase de experimentos – DRX e FRX dos APF's

O resultado de identificação das fases mineralógicas dos APF's, por difratometria de raios X, apresentou a presença de franklinita, wustita e da magnetita, entre outras fases, como pode ser visto na Tabela 35 e no Anexo F – Análises de DRX dos APF's, segunda fase. A zincita, halita, silvita e quartzo, ou seja, zinco, cloro, potássio e sílica presentes nas misturas foram volatilizados. A quantificação das fases identificadas foi obtida se considerando o somatório dos espinélios magnetita, franklinita e jacobsita, os quais possuem estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química refletida pela presença de zinco, manganês e magnésio.

Tabela 35 – Identificação das fases mineralógicas dos APF's

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Franklinita	x	x	x	x	x	x	x	-
Wustita	x	x	x	x	x	x	x	-
Óxido de	x	-	-	-	-	x	-	-

ferro (Hematita)								
Zincita	-	-	-	-	-	-	-	-
Óxido de chumbo	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcita	x	x	x	x	x	x	x	-
Magnetita	x	x	x	x	x	x	x	-
Cuspidina	x	x	x	x	x	x	x	-
Jacobsita	x	x	x	x	x	x	x	-
Fluorita	x	-	x	-	x	x	x	-
% estimado de espinélios	82	90	86	91	78	82	60	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

Os resultados das análises químicas dos APF's, conforme pode ser visto na Tabela 36, a seguir, e no Anexo G – Análises de FRX dos APF's, segunda fase, demonstram em relação aos elementos de interesse óxidos de ferro e zinco, que o experimento 3 com 52% de carepa apresentou o maior percentual de hematita, 79,4%, embora o experimento 1 contivesse o maior teor de carepa (54%). O menor percentual de hematita ocorreu no experimento 6 com 65,1% e composto de 36% de carepa. Não foi confirmada a influência do flúor para aumento do percentual de hematita. Quanto a presença de zinco oxidado no APF, o experimento 7 apresentou o menor percentual com 5,87%. O experimento 2 apresentou o maior percentual de óxido de zinco, 12,2%. Considerando os percentuais de extração de óxido de zinco presentes nas misturas, os melhores resultados foram os dos experimentos 3 e 7 com 32,81% e 31,98%, respectivamente. Estes experimentos tinham 7% de coque, sendo que o experimento 3 era composto de 5% de fluorita e o 7 com 9%. O experimento 6 também deve ser ressaltado, pois mesmo com o rebaixamento do percentual de coque (5%) e se mantendo a fluorita em 9%, a extração do óxido de zinco ficou em 29,09%, este experimento continha 50% de pó de forno elétrico. Os resultados confirmam a influência do coque e da fluorita cerâmica na extração do óxido de zinco do APF (Ver tabela 37) e também que o maior percentual de pó de forno elétrico contribuiu para que houvesse maior percentual de óxido de zinco no experimento 2, com o coque em 5% e a fluorita em 6%. Todo o óxido de zinco presente no APF está na forma de ferrita de zinco, conforme visto na Tabela 35, e pode ser verificado nas figuras 27 e 28.

Tabela 36 – Análise química (FRX) dos APF's – parâmetros de interesse

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Al ₂ O ₃	0,61	0,33	0,24	0,30	0,26	0,35	0,32	-
CaO	5,77	5,72	4,00	5,37	6,90	8,28	6,74	-
Cl	0,33	0,04	0,04	0,03	0,10	0,11	0,05	-
SiO ₂	5,02	5,05	3,59	4,87	4,32	5,14	3,61	-
F	1,44	0,94	1,44	0,72	3,28	3,11	2,80	-
Fe ₂ O ₃	73,2	69,5	79,4	72,0	71,6	65,1	75,6	-
K ₂ O	0,21	0,04	0,04	0,03	0,07	0,07	0,06	-
MgO	1,48	1,45	1,08	1,47	1,60	1,31	0,96	-
MnO	1,09	1,32	1,07	1,28	1,01	1,26	1,11	-
Na ₂ O	2,12	2,16	1,72	2,19	1,92	2,17	1,55	-
P ₂ O ₅	0,35	0,42	0,29	0,42	0,33	0,44	0,26	-
PbO	0,26	0,14	0,06	0,16	0,13	0,19	0,13	-
ZnO	7,26	12,2	6,43	10,5	7,84	11,7	5,87	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

Tabela 37 – Sumário da segunda fase: parâmetros ferro e zinco no APF

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
(%)								
Pó de forno elétrico	35,0	50,0	35,0	50,0	35,0	50,0	35,0	50,0
Carepa	54,0	39,0	52,0	37,0	51,0	36,0	49,0	34,0
Coque	5,0	5,0	7,0	7,0	5,0	5,0	7,0	7,0
Fluorita cerâmica	6,0	6,0	6,0	6,0	9,0	9,0	9,0	9,0
ZnO	7,26	12,2	6,43	10,5	7,84	11,7	5,87	-
Fe ₂ O ₃	72,2	69,5	79,4	72,0	71,6	65,1	75,6	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

Figura 27 - Difratoograma de raios X do experimento 2 – APF, a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando a somatória de espinélio presentes (franklinita, magnetita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química refletidas pela presença de zinco, manganês e magnésio.

Fonte: LCT, USP (2012)

FASES IDENTIFICADAS

Figura 28 - Quantificação das fases do experimento 2 - APF com a presença de 90% de espinélio de franklinita, representado na cor azul. Embora, a magnetita, representada na cor vermelha e a jacobsita, representada na cor verde apresentem estruturas cristalinas semelhantes a franklinita, Brocchi, Santos e Araújo (2007) demonstraram a prevalência da ferrita de zinco (Franklinita).

Fonte: LCT, USP (2012)

5.8.3.1 Análise de APF em Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV

Para as análises no MEV foram obedecidos os seguintes passos: seleção das amostras, limpeza, corte das amostras com serra, embutimento das amostras em resina epóxi, lixamento e polimento das amostras, metalização com carbono e digitalização das imagens (Ver Figura 29).

Figura 29 - Amostra de APF pronta para a análise no MEV, para obtenção de informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos presentes no APF, com aumentos de 300.000 vezes ou mais e alta resolução quando as amostras são observadas com valores da ordem de 2 a 5 nanômetros.

Fonte: Autor (2013)

As análises no MEV do experimento 1 mostram na figura 30 uma distribuição típica do APF, com a prevalência da ferrita de zinco conforme citado na Tabela 35 e que também pode ser observado na Tabela 38.

Figura 30 – A fotografia mostra os diferentes tons de cinza da amostra do APF 1, a resina é negra. Os diferentes níveis de cinza são função do número atômico presente, quanto mais próximo do branco maior é o número atômico. São identificados em ordem decrescente os compostos FeO, ZnO, MnO, MgO, CaO, etc. que caracterizam a estrutura típica do APF e que podem ser observados na Tabela 38.

Fonte: LCT, USP (2012)

Tabela 38 – Estrutura típica do APF conforme MEV

Spectrum	MnO	FeO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	CaO	K ₂ O	F	Fe
1	1,73	81,8	1,20	-	-	15,2	-	-	-	-
2	0,92	89,3	0,65	-	-	9,13	-	-	-	-
3	1,01	87,5	0,56	0,65	-	10,2	-	-	-	-
4	1,60	79,4	1,23	-	0,35	15,9	0,80	0,30	-	-
5	1,86	79,1	1,47	-	0,29	16,9	0,34	-	-	-
6	1,86	13,0	4,61	0,44	33,0	12,7	20,9	0,68	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,14
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,24
9	0,53	1,67	1,36	-	23,3	-	59,0	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	49,3	0,59

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

5.8.4 Resultados das análises do extrato lixiviado dos APF's

As amostras de APF's foram submetidas a ensaios de lixiviação, conforme a Norma ABNT NBR 10005:04, para verificar os parâmetros que caracterizam as misturas como resíduo perigoso, de acordo com a Norma ABNT NBR 10004:04, Anexo F da Norma. A Tabela 39 a seguir, mostra que todos os experimentos, exceto o 7, apresentaram o chumbo (Valor máximo permissível = 1,0 mg/L) e o cádmio (Valor máximo permissível = 0,5 mg/L) como parâmetros abaixo dos valores máximos permitidos pela Norma. Os boletins de análise podem ser vistos no Anexo H – Análises do extrato lixiviado dos APF's, segunda fase.

Tabela 39 – Análise do extrato lixiviado dos APF's

Parâmetro (mg/L)	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6	Exp. 7	Exp. 8
Arsênio	< 0,01	0,053	0,059	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Bário	1,2	0,603	0,357	1,2	0,203	0,374	0,421	-
Cádmio	0,015	< 0,001	< 0,001	0,025	< 0,001	< 0,001	0,047	-
Chumbo	0,252	0,581	0,772	0,292	0,057	0,989	1,2	-
Cromo	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Fluoreto	45,4	28,5	18,3	68,0	9,4	6,9	12,4	-
Mercúrio	$< 7.10^{-5}$	$< 7.10^{-5}$	$< 7.10^{-5}$	$< 7.10^{-5}$	$< 7.10^{-5}$	$< 7.10^{-5}$	$< 7.10^{-5}$	-
Prata	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Selênio	< 0,008	< 0,008	< 0,008	0,057	< 0,008	< 0,008	< 0,008	-

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

5.9 Planejamento de experimentos - terceira fase

Não foi possível realizar o experimento 8 da segunda fase, pois devido as altas temperaturas, em função do uso de 7% de coque, a grelha empenou e o exaustor desbalanceou. Entretanto, com os sete experimentos efetuados foi verificado, através das análises químicas por FRX, que não foi possível se obter um APF com óxido de zinco inferior a 5,87%, esta condição não foi alcançada pelos seguintes fatores: limite para aumentar o percentual de coque, com 7% houve degradação do equipamento; e compactação das pelotas

na panela de síter dificultando a difusão dos gases. A panela de síter foi composta com uma camada de *bed* e uma camada de pelotas de mistura com 500 mm, superpostas provocando esta compactação das pelotas. A compactação impede a saída do zinco volatilizado da frente queima. Assim sendo, para a terceira fase foi utilizado um processo de queima distinto das fases anteriores, o fluxo de ar ascendente, sem utilização de grelha e com deposição de camadas (batelada) de até 1,2 kg de pelotas, com diâmetro menor que 9,5 mm. As camadas foram dispostas sequencialmente após a queima da camada anterior. Em consequência, com camadas menos densas se pretendeu obter maior porção de vazios e maior facilidade para difusão dos gases. Sem a utilização da grelha também não houve limite para uso do coque, possibilitando o aumento da relação C/Zn.

A análise de dados do Planejamento de Experimentos (efeitos principais, interações duplas e triplas) levou às seguintes principais conclusões: com a elevação do percentual de carepa houve diminuição da relação C/Zn devido ao aumento da relação Fe/C; o aumento do percentual de coque aumentou a remoção de óxido de zinco; o aumento do percentual da fluorita cerâmica aumentou a remoção de óxido de zinco; o aumento do percentual de pó de forno elétrico incidiu em aumentar o percentual de coque (Ver Apêndice F).

Na terceira fase, como o principal objetivo foi identificar o mecanismo para otimizar a remoção do óxido de zinco, não se utilizou a carepa. Para formulação da mistura se tomou como base o experimento 7 da segunda fase (35% de pó de forno elétrico, 49% de carepa; 9% de fluorita cerâmica e 7% de coque), onde se obteve APF com 5,87% de ZnO. Assim sendo, o experimento inicial da terceira fase, denominado experimento 1, foi composto de 70% de pó de forno elétrico, 20% de coque e 10% de fluorita cerâmica. O experimento 1 produziu um aglomerado pré-fundido (APF) com 0,5% de ZnO (taxa de remoção de 96,7%) e FeO de 54%, de acordo com a Tabela 40. O APF praticamente ficou isento de óxido de chumbo, o elemento que confere periculosidade, no ensaio de lixiviação, ao pó de forno elétrico ficou em 0,04%.

Tabela 40 – Análise química (EFX) do aglomerado pré-fundido (APF) da terceira fase, experimento 1, conforme o Laboratório da ArcelorMittal

Parâmetro	Exp. 1
Al ₂ O ₃	1,12
CaO	21,63
NaCl	3,35
SiO ₂	13,21
F ₂	0,84
FeO	54,0

K ₂ O	0,08
S	0,77
MnO	2,61
TiO ₂	0,17
P ₂ O ₅	0,76
PbO ₂	0,04
ZnO	0,51

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

Uma amostra da mistura e do APF do experimento 1 foi enviada para o LCT da USP para se comprovar os resultados obtidos pelo laboratório da ArcelorMittal, assim como do material particulado volátil resultante do experimento e que foi coletado em manga filtrante. Na análise do LCT o percentual de ZnO no APF foi 3,61% (taxa de remoção de 77,1%) e na amostra testemunha o percentual de ZnO ficou em 6,06% (taxa de remoção de 61,6%), conforme Tabela 41 e Anexo L. O concentrado de zinco apresentou 46,5% de ZnO e 4,77% de PbO, conforme a Tabela 42. Desconsiderando a perda ao fogo de 28,4%, o ZnO foi para 64,94%.

Tabela 41 – Análise química (EFX) da mistura e do aglomerado pré-fundido (APF) da terceira fase, experimento 1, conforme o LCT da USP

Parâmetro (%)	Mistura Exp. 1	APF Exp. 1	APF rep. Exp. 1
Al ₂ O ₃	0,45	1,19	0,88
CaO	7,91	17,7	8,55
Na ₂ O	5,94	1,98	1,83
Cl	3,29	0,27	0,05
SiO ₂	2,90	10,6	7,49
F	2,15	3,16	nd
Fe ₂ O ₃	22,9	52,5	68,4
K ₂ O	1,53	0,21	0,10
SO ₃	1,31	1,54	0,49
MnO	1,06	2,58	2,09
TiO ₂	0,09	0,23	0,16
P ₂ O ₅	0,28	0,81	0,59
PbO	1,97	0,18	0,19
ZnO	15,8	3,61	6,06

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

Tabela 42 – Análise química (EFX) do concentrado de zinco do experimento 1 da terceira fase

Parâmetro	Exp. 1
Al ₂ O ₃	0,19
CaO	0,37
Cl	8,24
SiO ₂	0,46
F	0,67
Fe ₂ O ₃	3,41
K ₂ O	5,0
MnO	0,17
TiO ₂	0,02
P ₂ O ₅	0,03
PbO	4,77
ZnO	46,5
PF	28,4

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2013)

O experimento 1 da terceira fase confirmou que o percentual de fluorita cerâmica em torno de 10% tem uma influência positiva na remoção do zinco. Para Rizzo (2006), a adição de fluorita na faixa de 5 a 10% é utilizada para tornar a escória líquida e com fluidez adequada para proporcionar interação adequada entre banho metálico e escória. O diagrama ternário, conforme a figura 31, demonstra o efeito da adição de fluorita no ponto de fusão, considerando o sistema CaF₂-CaO-SiO₂.

Figura 31 - Diagrama ternário do sistema $\text{CaF}_2\text{-CaO-SiO}_2$. A adição de fluorita tem como consequência a redução do ponto de fusão dos óxidos presentes na mistura, assegurando que a volatilização destes óxidos ocorram na temperatura de sinterização, em torno de 1200°C .

Fonte: Rizzo (2006)

No caso do sistema quartenário $\text{CaO-FeO-SiO}_2\text{-CaF}_2$, condição que melhor caracteriza os experimentos deste trabalho, Shahbazian, Sichen & Seetharaman (2000) demonstraram que com adição de CaF_2 variando de 5-15% em massa, as viscosidades das escórias geralmente diminuem. O efeito de CaF_2 para diminuir as viscosidades da escória têm geralmente sido atribuído à função do íon fluoreto como um disjuntor de rede.

5.9.1 Sistema de queima para os experimentos da terceira fase

Para a terceira fase dos experimentos foi montada uma planta piloto de fluxo ascendente que foi composta de um maçarico alimentado por ar comprimido ($p=5\text{ kgf/cm}^2$), um botijão de gás liquefeito de petróleo – GLP com capacidade de 45 kg, para proporcionar a mistura gás/ar na proporção de 1:20. Uma panela com as seguintes dimensões: diâmetro interno de 315 mm e altura de 500 mm e quatro tijolos refratários para acento da panela, conforme a figura 32. Também foi instalada uma coifa para captação do material particulado volatilizado durante o processo e um aspirador com filtro de mangas conforme a figura 33.

Figura 32 – Planta piloto de sinterização de fluxo ascendente, com detalhe do material particulado volatilizado durante o processo captado pela coifa e da frente de queima na panela.

Fonte: Autor (2013)

Figura 33 – Dispositivo de exaustão com manga filtrante de poliamida aromática, conhecida como Nomex, com resistência moderada à ácidos e álcalis, resistência fraca à hidrólise (resiste até 10% de H_2O em volume), resistência excepcional a fagulhas, suporta até três picos por dia de 15 minutos de $220^{\circ}C$ e temperatura média de operação de $220^{\circ}C$.

Fonte: Autor (2013)

5.9.2 Terceira fase dos experimentos - Misturas e APF's

Os experimentos foram divididos em dois grupos, um com o percentual de coque fixado em 20% e o outro com percentual fixado em 7%; a fluorita cerâmica, cujo melhor resultado em termos de extração de zinco na segunda fase se situou em 9%, foi testada em experimentos com 5, 10 e 15%; o pó de forno elétrico complementou a composição das misturas com percentuais de 75, 70, 65, 88, 83 e 78%, respectivamente (na segunda fase os percentuais de pó de forno elétrico foram 35% e 50%).

Das tabelas 43 (Ver Anexo I) e 44 (Ver Anexo J) se observa que o experimento 2 apresentou o maior percentual de extração de ZnO , a mistura continha 21,15% de ZnO e o APF ficou com 9,81%, o que representa 53,61% de remoção. A pior situação ficou com o

experimento 3, com a mistura contendo 22,48% de ZnO e o APF mantendo 21,95%, com percentual de remoção de apenas 2,35%; em seguida o experimento 6 com percentual de remoção de 8,14%, nestes dois experimentos o percentual de fluorita cerâmica foi de 15%. O carbono no experimento 3 foi de 20% e no experimento 6 foi de 7%, o que se depreende que com 15% de fluorita nem se aumentando o percentual de carbono é possível aumentar a remoção de ZnO. Por outro lado, ao se comparar os experimentos 2 e 5, ambos com 10% de fluorita e carbono com 20% e 10%, respectivamente se verifica que se mantendo a fluorita em 10%, o aumento do carbono é diretamente proporcional a extração do ZnO.

Tabela 43 – Análise química das misturas – parâmetros de interesse

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6
Al ₂ O ₃	1,10	0,75	0,73	1,15	0,91	0,78
CaO	13,72	16,95	12,92	14,91	18,51	14,47
SiO ₂	6,97	5,19	5,32	7,27	6,51	5,57
CaF ₂	1,97	1,57	1,51	2,53	2,38	1,94
FeO	26,62	25,75	29,48	27,32	28,53	28,70
K ₂ O	1,45	1,36	1,51	1,65	1,88	1,70
MgO	1,84	2,16	3,01	1,90	2,05	2,39
MnO	1,90	1,71	1,84	1,81	1,70	1,76
NaCl	14,95	18,64	14,73	13,81	12,44	12,30
P ₂ O ₅	0,29	0,30	0,36	0,31	0,32	0,33
C	8,95	3,47	5,26	5,28	0,19	5,38
ZnO	19,67	21,15	22,48	21,16	23,46	22,21

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2014)

Tabela 44 – Análise química dos APF's – parâmetros de interesse

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6
Al ₂ O ₃	1,26	1,03	0,87	1,08	0,71	0,79
CaO	18,68	24,53	19,73	24,37	21,74	19,23
SiO ₂	13,89	13,12	11,65	12,75	10,07	10,46
CaF ₂	1,20	2,77	1,48	2,71	2,71	2,20
FeO	36,34	35,58	33,70	32,63	34,64	35,45
K ₂ O	0,11	-	0,17	0,25	0,18	0,31

MgO	2,30	2,04	2,08	2,11	1,84	1,96
MnO	4,34	3,43	2,23	2,89	2,19	2,24
NaCl	3,48	2,59	4,27	4,01	4,75	5,23
P ₂ O ₅	0,46	0,59	0,51	0,57	0,54	0,55
C	0,12	3,41	0,09	0,20	0,11	0,18
ZnO	16,66	9,81	21,95	15,40	19,50	20,40

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2014)

O aumento da fluorita, acima de 10%, pode estar prejudicando a remoção do óxido de zinco pela maior escorificação durante a sinterização (pois a fluorita básica reage mais facilmente com o pó do FEA ácido, gerando maior amolecimento e escorificação da mistura, prejudicando a permeabilidade e dificultando a saída de parte do óxido de zinco). Entretanto, como a sinterização envolve um processo de multicomponentes, outras causas poderão estar ocorrendo.

O concentrado de zinco, como pode ser observado na Tabela 45 (Ver Anexo K), teve no experimento 2 o seu melhor resultado, 29,7% de ZnO. Ao se fazer a correção desconsiderando a perda ao fogo de 43,2%, o ZnO passou a ser 52,3%, o PbO ficou 11,4% e os álcalis (K₂O e Cl) alcançaram 32%. O que demonstra o potencial de aproveitamento do coproduto na indústria do zinco.

Tabela 45 – Análise química do concentrado de Zinco – parâmetros de interesse

Parâmetro	Exp. 1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp. 5	Exp.6
Al ₂ O ₃	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07
CaO	0,07	0,12	0,03	0,05	0,08	0,04
SiO ₂	0,09	0,08	0,01	0,03	0,02	0,04
F	<0,001	<0,001	0,25	<0,001	<0,001	<0,001
Fe ₂ O ₃	0,39	0,42	0,20	0,18	0,20	0,11
K ₂ O	6,14	6,81	5,50	6,33	7,53	5,12
MgO	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MnO	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01
Cl	11,0	11,3	10,2	11,2	13,0	10,0
P ₂ O ₅	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
PbO	7,23	6,49	6,35	6,27	7,83	5,27

ZnO	20,6	29,7	8,03	15,0	14,1	6,62
PF	52,7	43,2	70,0	59,4	55,4	71,5

PF – Perda ao Fogo

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2014)

6 CONCLUSÕES

As principais conclusões, considerando as três fases da pesquisa, podem ser assim sumarizadas:

- A primeira fase dos experimentos demonstrou a viabilidade técnica de se obter um coproduto, o APF, tendo como matérias primas apenas resíduos sólidos gerados internamente no processo siderúrgico acrescido da fluorita cerâmica, resíduo sólido do processo cerâmico e do coque como combustível sólido. Ainda desta fase, se verificou que o APF submetido ao ensaio de lixiviação conforme a ABNT NBR 10005:2004 é classificado como resíduo não perigoso não inerte, classe IIA, de acordo com a ABNT NBR 10004:2004, o que representa uma enorme redução de custos (75%) para o setor siderúrgico ao se considerar a disposição final em aterros industriais. E, finalmente, se comprovou a viabilidade técnica de se tratar o pó de forno elétrico em uma planta compacta adequada ao volume de pó gerado pela própria planta.
- A segunda fase dos experimentos, que objetivou verificar como as matérias primas que compõem o APF influenciam para se obter um coproduto comercializável para uso em altos fornos de pequeno porte, com o máximo de ferro e o mínimo de zinco, trouxe os seguintes resultados:
 - A extração do ZnO no APF, durante o processo de sinterização de fluxo descendente, aumentou com 7,0% de coque e 9,0% de fluorita cerâmica. Com esta condição e com 35,0% de pó de forno elétrico foi obtido o menor percentual de ZnO no APF, 5,87%;
 - A influência do coque para a extração do ZnO no processo de sinterização demonstrou ser maior do que a da fluorita cerâmica, mantido o percentual de pó de forno elétrico em 35,0%, conforme o experimento 3. Mantendo 7,0% de coque e reduzindo três pontos percentuais da fluorita cerâmica (de 9,0% para 6,0%), o percentual de ZnO no APF foi de 6,43%, um aumento de 9,5% em relação ao menor percentual de ZnO. Mantendo a fluorita cerâmica em 9,0% e se reduzindo o coque em dois pontos percentuais (de 7,0% para 5,0%), conforme o experimento 5, o percentual de ZnO no APF foi de 7,84%, um aumento de 33,5% em relação ao menor percentual de ZnO;

- A combinação de 35% de pó de forno elétrico e percentual de carepa maior ou igual a 50% favorece a elevação do percentual de FeO no APF (Ver experimentos 1, 3, 5), as exceções são o experimento 4, com 50,0% de pó de forno elétrico e percentual menor que 50% de carepa, e o experimento 7 com 35,0% de pó de forno elétrico e carepa menor que 50%;
- Os testes do APF no alto forno da CSI, com a composição estabelecida pelo experimento 7 da segunda fase, utilizando 5% de APF na carga de 900 kg, não registrou anomalias no processo e a composição química do gusa também não apresentou alterações. Embora, sejam necessários mais testes com aumento do percentual de APF na carga, é possível afirmar que o uso do APF em altos fornos de pequeno porte é possível.
- Na terceira fase, sem utilização de carepa, quando os experimentos foram divididos em dois grupos, um com o percentual de coque fixado em 20% e o outro com percentual fixado em 7%; com percentuais de fluorita de 5, 10 e 15%; com o pó de forno elétrico complementando a composição das misturas com percentuais de 75, 70, 65, 88, 83 e 78%, respectivamente (na segunda fase os percentuais de pó de forno elétrico foram 35% e 50%), a Tabela 44 indicou que existe uma relação C - CaF_2 ótima, situada em 20% C e 10% CaF_2 , para extração do ZnO, fora desta condição:
 - mesmo aumentando o percentual de C (de 7% para 20%) não há elevação na extração do ZnO;
 - mesmo aumentando o percentual de CaF_2 (de 10% para 15%) não há elevação na extração do ZnO.
 - As análises do concentrado de ZnO, conforme a Tabela 45, demonstraram o potencial de aproveitamento do ZnO na indústria do zinco.

6.1 Recomendações

1 - Efetuar experimentos com o APF no forno elétrico a arco:

No forno elétrico a arco da ArcelorMittal são fundidas 158 t de sucata ferrosa, carregadas em dois cestões, o segundo carregamento é executado após a fusão da sucata contida no primeiro carregamento. Em complemento são adicionadas ainda 2 t de cal calcítica e 2,4 t de cal dolomítica. Para o experimento se recomenda carregar 1 t de APF e 0,360 t de

coque para reagir com o APF de forma a se obter a redução e produzir as reações a seguir. A adição deverá ocorrer após o carregamento da cal do segundo cestão.

Os parâmetros de controle de desempenho do forno elétrico como consumo de energia elétrica, carga média, tempo de forno ligado (*power on*), tempo de corrida (*tap to tap*), consumo de oxigênio entre outros deverão ser acompanhados, assim como a análise química das escórias.

2 – Produzir APF em escala industrial com composição contemplando os percentuais de coque e fluorita cerâmica estabelecidos na terceira fase dos experimentos.

3 – Realizar testes em altos fornos de pequeno porte com percentuais maiores que 5% na carga.

4 - Efetuar experimentos para a separação do ZnO e do PbO do concentrado de zinco.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M.L.A; CUNHA, L.M.S; GANDRA, G. T; RIBEIRO, C.C; **Mercado mundial de sucata – relatório setorial**. Disponível em www.bndes.gov.br Acesso em 05.02.2011.

ARAUJO, J.

A. **Resíduos sólidos na indústria siderúrgica: usina semi-integrada – um estudo de caso**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Piracicaba, 2005.

ARAUJO, L. A. **Manual de siderurgia**. Editora: Arte & Ciência, 1997,v.1. p.176 – 186.

ASANUMA, M.; ARIYAMA, T.; SATO, M.; MURAI, R.; NONAKA, T.; OKOCHI, I.; TSUKIJI, H.; NEMOTO, K. **Development of waste plastics injection process in blast furnace**. Revista ISIJ International, V. 40, N° 3, 2000, p. 244 – 251.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10004 - **Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro.

_____.(2004). ABNT. NBR 10005 - **Ensaio de lixiviação**. Rio de Janeiro.

BEST. T. E ; PICKLES, C.A. **In-fight plasma reduction of eletric furnace dust in carbon monoxide**. Canadian Metallurgical Quartely, v. 40, n.1, p.61-78, 2000.

BLAST, J.; MICZAJKA, P.; BOYSEN, D. **Mixing technology in the steel industry**. 2nd. International Meeting on Ironmaking. 1st. International Symposium on Iron Ore. September 12 – 15 th, 2004, Vitória, Espírito Santo.

BRASIL. **Lei Estadual 12300** de 16.03.2006. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos.

_____. **Lei Federal 12305** de 02.08.2010. Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

BREHM, F. A. ; VARGAS, A. ; MORAES, C. A. M. ; MASUERO, A. ; DAL MOLIN, D. ; VILELA, A. C. F. ; BERNARDES, A. M. ; MAFALDO. **Characterization and use of eaf dust in construction**. In : third japan-brazil symposium on dust processing-energy-environment in metallurgical industries, 2001. São Paulo, 2001. p. 173-181.

BREHM, F. A. ; GRAFFITTI, D. F.;MORAES, C. A. M.; VILELA, A. C. F. **Desenvolvimento de um método para a digestão de pós de aciaria elétrica com vistas à caracterização química do resíduo**. In: Anais do Congresso em Ciências dos Materiais do Mercosul, SULMAT, 2002, Joinville, p. 448-457. 1CD.

BROCCHI, E. A.; SANTOS, F. S.; ARAÚJO, V. L. **Separação zn-fe da poeira de fornos elétricos**. 62º. Congresso Anual da ABM, 23 a 27 de julho de 2007. Vitória, ES.

CAPRA, F. **As conexões ocultas – ciência para uma vida sustentável**. São Paulo: Ed. Cultrix, 2002.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Siderurgia no Brasil 2010-2025**. 112p;il, 24 cm (Série Documentos Técnicos,9). Brasília, D.F.

ÇAMCI L.; AYDIM, S.; ARLAN, C. **Reduction of iron oxides in solid wastes generated by steel works**. Turkish Journal of Engineering and Environment Science, 26, 2002, p.37-44.

CHIAVERINI, V. Metalurgia do pó: técnica e produtos. Associação Brasileira de Metalurgia, 4ª. ed., S. Paulo, 2001, p. 3, 45-47.

CUNHA, A. P. **Redes neurais em processos siderúrgicos: analisador virtual de propriedades metalúrgicas do sinter e modelo de predição de qualidade do aço**. Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

DEDAVID, B. A; GOMES, C. I; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura – aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. EDIPUCRS. Porto Alegre, 2008.

DOMÍNGUES, E.A.; ULMANN, R. **“Ecological bricks” made with clays and steel dust pollutants**. Applied Clay Science, Olavarría, v. 11, p.237-249, september1996.

FRENAY, J. FRELAY, S. HISSEL, J. **Zinc and lead recovery from eaf dusts by caustic soda process**. In: Electric Furnace Conference, 44., Dallas, 1986. Proceedings. Warrendale – ISS, p.417-421.

FREEMAN, H. M. **Industrial pollution prevention handbook**. New York: McGraw-Hill, 1995. 935p.

GANDIAGA, N.G.; VERGARA, B.G.E. Publicação, reprodução, execução: direitos autorais. In: **Global symposium on recycling, waste treatment and clean technology**, 2., 1999, San Sebastián. Proceedings of the “Rewas’99: Global symposium on recycling, waste treatment and clean technology. San Sebastián: TMS, INASMET, 1999, p.1511 -1520.

GONÇALVES, J. M. et al. **Chemical, physical, structural and morphological characterization of the electric arc furnace dust**. Journal of Harzadous Materials B136 (2006) p.953-960.

GORNI, A. A. **Aproveitamento de plástico pós-consumo na forma de combustível para altos-fornos e coquerias**. Revista Plástico Industrial, Janeiro 2006, p. 84-100.

GRILLO, F. F. **Recuperação de Zn e Fe da poeira de aciaria elétrica proveniente da produção de aço carbono.** Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais do Instituto Federal do Espírito Santo como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Vitória, 2011.

HOLLOWAY, P.C.; ETSELL, T. H.; MURLAND, A.L. **Roasting of la oraya zinc ferrite with Na_2CO_3 .** The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International, 2007.

HOSSEINI, S. M. Structural, electronic and optical properties of spinel MgAl_2O_4 oxide. **physica status solidi (b)**, v. 245, n. 12, p. 2800-2807, 2008.

Hughes, S.; Reuter, M. A.; Baxter, R.; Kaye, A. **Ausmelt technology for lead and zinc processing.** The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Lead and Zinc, 2008.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. Portal meio ambiente. Disponível em <http://www.ieg.mg.gov.br/noticias/1/1354-consumo-de-carvao-vegetal-de-origem-nativa-cai-61-em-minas-> Acesso em 09out2013.

IGUSHI, Y.; FANMING, M.; HIURA, M. **Reaction enhancing mechanism in iron ore carbonaceous material composite pellets heated at elevated temperature.** Fourth Japan – Brasil Symposium on dust processing – energy – environment in metallurgical industries, Proceeding, EPUSP, São Paulo, 2002, 77-78.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Anuário estatístico, 2013.** Disponível em <http://www.acobrasil.org.br/site/português/biblioteca/publicacoesASP>. Acesso em 09out2013.

_____. **Relatório de sustentabilidade, 2010.** Disponível em http://www.acobrasil.org.br/site/português/sustentabilidade/downloads/relatório_201.pdf. em 15/01/2011. Acesso em 22 jan2011.

_____. **Aproveitamento de sucata na fabricação do aço no Brasil: realidades e oportunidades.** Seminário internacional sobre reciclagem de veículos e renovação de frotas. Brasília, 12.08.2010. disponível em: <HTTP://www.cntdespoluir.org.br/downloads/IABR.pdf>. Acesso em 22.05.2011.

_____. **Números e estatística, 2009.** Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatistica.asp> Acesso em 12 abr.2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **Anuário estatístico da indústria siderúrgica brasileira, 2002.** Rio de Janeiro, 2002. p. 20. Disponível em www.cetem.gov.br/publicação/CTs?CT2005-094-00.pdf. Acesso em 24 abr2011.

- _____. **Anuário estatístico da indústria siderúrgica brasileira, 2003.** Rio de Janeiro, 2003. p. 20. Disponível em www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_decenal/a_transformação_mineral_no_brasil/P32_RT58_Perfil_do_Axo.pdf. Acesso em 24abr.2011.
- INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. **Numbers and statistics, 2003.** Disponível em www.ncc.gov.au/images/uploads/deRaFoSu-016.pdf. Acesso em 24 abr.2011.
- _____. **Report 2003.** USA, 2003.
- _____. **Numbers and statistics, 2009.** Disponível em www.azom.com/news.aspx%3FNewsID%3D13015+%22International+Institutte+of+Steel+and+Iron.+Numbers+and+Statiscs,+2009%22&act=clnk. Acesso em 24 abr.2011.
- KAIDA, S.; SUZUKI, T.; YAMAZAKI, T.; MITA, Y. The lattice constant and cation distribution in ZnFe_2O_4 containing excess of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ at high temperature. **Journal of Physics C: Solid State Physics**, v. 8, n. 5, p. 617-626, 1975.
- KANARI, N. et al. **New process for the tread treatment of eaf dust. Recycling and waste treatment in mineral and metal processing.** Luleå: Technical and Economic Aspects, 2002, p. 16-20.
- LECLERC. N.; MEUX, E.; LECUIRE, J-M. **Hidrometallurgical recovery of zinc and lead from electric arc furnace dust using mononitriloacetate anion and hexahydrated ferric chloride.** Journal of Hazardous Materials, v. B91, p. 257-270, 2002.
- LU, W.; HUANG, D.; **The evolution of ironmaking process based on coal containing iron ore agglomerates.** ISIJ International, vol. 41, n.8, 2001, p.807-812.
- MACHADO, J.G.M.S. et al. **Characterization study of electric arc furnace dust phases.** Mat. Res. Vol.9 no.1 São Carlos Jan./Mar.2006. Disponível em <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/20331>. Acesso em 10fev2012.
- MANTOVANI, M; TAKANO, C; CAVALLANTE, F. Publicação, reprodução execução: direitos autorais. In: **53º. Congresso anual da ABM** , 53., 1998. Anais do 53º. Congresso Anual da ABM. 1998, p.1329-1343.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Anuário estatístico 2011 – setor metalúrgico.** Brasília, 2011. Disponível em http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/publicacoes/anuarios/livro_metalurgico_web.pdf. Acesso em 09out2013.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Estudo da reciclagem de metais no país.** Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010-2030) de geologia, mineração e transformação mineral. Brasília, 2009.

_____. **Relatório técnico 65 – perfil do zinco.** Projeto ESTAL, consultor Juarez Fontana dos Santos, 2009. Disponível em www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P39_RT65_Perfil_do_Zinco.pdf.. Acesso em 23set2013.

MORAES, C.A.M; BREHM, F.A. Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, 2007.

MORAES, C. A. M. **Estado da arte da reciclagem de pó de aciaria elétrica.** XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional/ XXXVIII Steelmaking Seminar – International, Maio, 2007. Belo Horizonte, 2007. p92.

MOREIRA, B. **Consumo de sucata cai 30% com racionamento de energia.** Agência Estado. Disponível em www.estado.com.br/ageestado/noticia/2001/set/25/182.htm. Acesso em 05fev2011.

MOURÃO, M.B. et al. **Introdução à siderurgia.** Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais. São Paulo, 2007, pg 16, 39-44.

NETO, B. B., SCARMINIO, I. S., BRUNS, R. E., **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** 3ª. Ed., Campinas, SP. Editora da Unicamp, 2007.

NYIRENDA R.L. **The processing of steelmaking flue-dust: A review.** *Minerals Engineering*. Vol.4, 1991, p. 1003-1025.

PICKLES, C. A. Reaction of electric arc furnace dust with molten iron containing carbon. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, v. 112, n. 2, p. 81-87, 2003.

RAPPORTI 38_2003 Capítulo 4.Zip – ISPRA. Disponível em http://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003200/3224-rapporti38-2003capitolo4.Zip/at_download/file. Acesso em 23jan2013.

REIS, W. L. C. **Otimização da reciclagem de resíduos siderúrgicos por redução carbotérmica.** Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos, 2008.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos processos de refino primário dos aços nos fornos elétricos a arco**. Série: capacitação Técnica em Processos Siderúrgicos Área: Aciaria. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2006.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos processos de refino secundário dos aços**. Série: capacitação Técnica em Processos Siderúrgicos Área: Aciaria. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2006.

RODRIGUES, M. I., LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2ª. ed. Campinas, SP. Casa do espírito amigo fraternidade fé e amor, 2009.

ROMEIRO, S.B.B. **Química na Siderurgia**. Área de educação Química do Instituto de Química da UFRGS, 1997. Disponível em [www](http://www.chem.ufrgs.br/~romeiro/)

SAITO, Y. **Direct-reduction process for recycling steel plant waste fines**. In: ironmaking Conference, 34., Toronto, 1975. Proceedings. Warrendale, Iss, p. 464 – 481.

Schmidheiny, S. **Changing course: a global business perspective on development and the environment**. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

SHAHBAZIAN, F; SICHEN, D; SEETHARAMAN S. **Viscosities of some binary and ternary slags in the system CaO-Feo-SiO₂ with CaF₂ additions**. EPD Congress 2000. The Minerals, Metals & Materials Society. Nashville, Tennessee, March 12-16, 2000.

SILVA, M. C.; KLIEMANN, L. P.; BONADIMAN, R.; TENÓRIO, J. A. S.; BERGMANN, C. P.; BERNARDES, A. M. Emissões Atmosféricas Geradas na Produção de Cerâmica Vermelha com Incorporação de Pó de Aciaria Elétrica. **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável**. Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina, 2004.

SIMEÃO, L. Situação Alarmante. Revista Brasileira do Aço, v.64, 2003. Disponível em www.inda.org.br/revista Acesso em 05fev2011.

SOFILIC T.; RASTOVCAN-MIOC A.; CERJAN-STEFANOVIC S.; NOVOSEL-RADOVIC V.; JENKO M. **Characterization of steel mill electric-arc furnace dust**. Journal of hazardous materials, B109.2004.pp.59-70.

STOLTZ, R. **State of the art technology to recover metals from EAF/BF/BOF dust and sludge**. Disponível em: http://www.priism-2010.in/pdf/techeei3/eaf_bof.pdf. Acesso em: 12 jan2010.

SUSAKI K. NT **Fundentes e escorificantes – situação atual com tendências 2025**. Estudo Prospectivo do setor Siderúrgico. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Disponível

em www.abmbrasil.com.br/epss/arquivos/documentos/2011_4_19_10_20_42_09719.pdf

Acesso em 24fev2012.

SUZUKI, Y. EPITAXIAL SPINEL FERRITE THIN FILMS. **Annual Review of Materials Research**, v. 31, n. 1, p. 265-289, 2001.

TAKANO, C.; CAPOCCHI, J.D.T, et al. **A reciclagem de resíduos siderúrgicos sólidos**. Seminário Nacional sobre reuso/reciclagem de resíduos sólidos industriais. Seretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2000.

TEDJAR, F. **Recupac Process, a new friendly environmental solution for recycling EAF dusts**. XXXVI Seminário de Redução e Minério de Ferro, ABM, 2004, p.441 – 451.

TELLES, V. B. **Reciclagem da poeira de aciaria elétrica na sinterização de minério de ferro visando a eliminação de zinco**. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo no Programa de Pós-Graduação de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo, 2010.

TODA, H. et al. **The morphological classification and classification of sinter microstruture**. Transactions ISIJ, 24, p. 329, 1984.

UNIFEMM – Centro Universitário de Sete Lagoas. **Panorama do comercio exterior setelagoano- Dezembro 2012**. Disponível em www.unifemm.edu.br/sitio/arquivos/pdfs/stwp7xkkeb53.pdf. Acesso em 09out2013.

U.S. STEEL. **The making, shaping and treating of steel**. 10th edition. Association of Iron and Steel Engineers- United States Steel Corp., Pittsburg, Pa., 1985, p.304 – 312.

VIGANO, J. B. et al. **Recuperação de zinco do pó de exaustão de indústria siderúrgica em meio alcalino**. Revista Matéria, v. 9, n.4, pp. 437-444, 2004.

XIA, D.K.; PICKLES,C.A. **Caustic roasting and leaching of electric arc furnace dust**. Canadian Metallurgical Quartely, v.38,n.3, 1999, p. 175-186.

YAMADA, S.; ITAYA,H.;HARA,Y. **Simultaneous recovery of zinc and iron from electric arc furnace dust with a coke-packed bed smelting-reduction process**. Iron and Steel Engineer, v.75,n.8, Aug, 1998, p.64-67.

YOUCAI, Z.; STANFORTH, R.; **Integrated hydrometallurgical process for production zinc from electric arc furnace dust in alkaline medium**. Journal of Hazardous Materials. V. B80, p. 223-240, 2000.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Fundação Christiano Ottoni. Belo Horizonte, MG, 2000.

ZUNKEL, A. D. SCHIMITT, R. J. **Review of electric arc furnace dust treatment processes and environmental regulations.** In: Electric Furnace Conference, vol. 53, Orlando, 1995. Proceedings. Warrendale, ISS, p. 147 – 158.

APÊNDICES

Apêndice A - Mapa de Processos

Legenda:

x – parâmetro de processo: são as variáveis próprias do processo que causam impacto nos parâmetros dos produtos em processo e final;

y – parâmetros de produto em processo: características importantes no produto em processo que podem afetar o sistema;

Y – parâmetros de produto final: características importantes do produto final que estão relacionadas com o problema;

PP – produto em processo: produto gerado após cada etapa do processo, antes de sofrer a transformação em produto final;

Apêndice B – Detalhes da planta piloto de sinterização - Fluxo descendente

A planta piloto é composta por um misturador intensivo tipo Eirich, conforme Figura 1, uma panela de sínter, de acordo com a Figura 2 e um sistema de exaustão composto por um exaustor com capacidade de vazão de 1200 m³/h, uma caixa de vento e um ciclone, conforme Figuras 3, 4 e 5, a seguir. Possui ainda, uma betoneira (Ver Figura 6) e um deck de peneiras vibratórias com malhas de 50,8mm, 19mm, 9,5mm e 6,3mm.

O misturador tem o papel fundamental de assegurar a homogeneidade da mistura, além disso, o misturador determina em grande parte as propriedades que o sínter terá (BLATZ, MICZAJKA & BOYSEN, 2004).

Figura 1 – Vista do misturador intensivo tipo Eirich

Os materiais após a homogeneização efetuado no misturador são carregados na panela sínter, que possui o fundo com grelhas para permitir a passagem do ar pelo sistema de exaustão (MOURÃO, 2007)

Figura 2 – Vista da panela de síter

O exaustor é o responsável pela sucção contínua do ar atmosférico que após a ignição da mistura, permite a transferência de calor da camada superior da mistura dentro da panela de sinterização para a camada inferior, produzindo uma frente térmica que atinge 1200 °C e possui velocidade de propagação proporcional à vazão do ar (MOURÃO, 2007).

Figura 3 – Vista do exaustor que compõe o sistema de exaustão do processo de sinterização

A caixa de vento tem a função de retirar as partículas finas geradas no processo de sinterização, resultante dos materiais voláteis presentes na mistura.

Figura 4 – Vista da caixa de vento

O ciclone, em complemento a caixa de vento, tem como princípio de operação a ação da força centrífuga sobre as partículas sólidas em movimento num fluxo rotativo, é o equipamento que extrai as partículas grosseiras ($> 10 \mu\text{m}$) geradas no processo de sinterização.

Figura 5 – Vista do ciclone

O objetivo da betoneira é estabilizar o APF após a retirada da panela de sinterização.

Figura 6 – Vista da betoneira

O deck de peneiras vibratórias permite separar por faixas granulométricas o APF e o retorno, material fino ($< 6,3$ mm), que é utilizado na composição do próprio APF.

Apêndice C – Aplicação da fluorita da cerâmica na siderurgia

A fluorita é utilizada no processo siderúrgico, principalmente para tornar a escória líquida e com fluidez adequada para proporcionar interação entre o banho metálico e a escória, sem provocar excessiva agressão ao revestimento refratário. A adição de fluorita se torna mais importante no caso de escórias com baixo teor de alumina, o consumo varia de acordo com a qualidade da carga, tipo de aço e da prática operacional.

A fluorita cerâmica, assim denominada devido a similaridade com a fluorita mineral, é captada na saída do filtro de mangas do forno de queima de pisos cerâmicos. Neste processo, o flúor incorporado na argila volatiliza sob a forma de íon fluoreto (F^-), que em contato com o vapor de água do forno reage, formando ácido fluorídrico (HF), que é conduzido pelo fluxo gasoso à chaminé. Lançado no meio ambiente, o fluoreto causa efeitos perceptíveis e bem característicos na vegetação, como descoloração das folhas e queda prematura, principalmente nas margens e no ápice das folhas. Para neutralizar este poluente são utilizados filtros de manga revestidos de cal hidratada, que promovem a reação do cálcio com o ácido fluorídrico e formam o fluoreto de cálcio.

No teste experimental comparativo entre a fluorita cerâmica e a mineral foram avaliadas a incorporação de flúor na escória, assim como a taxa de dessulfuração. Foi verificado que a adição da fluorita cerâmica no processo de refino do aço não causou anomalias de processo e foi bem aceita pelas equipes da produção. O percentual de flúor na escória de panela gerada manteve-se dentro da faixa esperada (2 a 5 %), não havendo variação entre a fluorita mineral e a cerâmica, cuja média se situou em 3%. Em relação à emissão de material particulado, os resultados obtidos foram em média 80% menores.

NB: O artigo completo poderá ser encontrado na Revista ABM metalurgia materiais & mineração nº 617, volume 68, maio/junho 2012, pg. 192-197.

Apêndice D – Detalhamento dos processos de quarteamento e homogeneização

O processo de quarteamento e homogeneização das matérias primas utilizadas nos experimentos envolveu três ajudantes de produção conforme pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Preparação da área para quarteamento e homogeneização dos materiais

Para o processo de quarteamento e homogeneização foram utilizados três operadores, sendo um deles um operador de ponte rolante. Os equipamentos e ferramentas utilizadas foram ponte rolante, balança, pás e enxadas. O processo inteiro contempla cinco etapas de quarteamento e homogeneização, de forma a termos no início da atividade 750 kg de material e na conclusão apenas 10kg. A Figura 2, a seguir, mostra a preparação do pó de forno panela para início da primeira etapa de quarteamento e homogeneização.

Figura 2 - Vista do início do quarteamento e homogeneização do pó de forno panela

O quarteamento e homogeneização foram executados conforme o fluxograma da Figura 3, a seguir:

Figura 3 - Fluxograma do quarteamento e homogeneização dos materiais

O processo foi iniciado com o descarregamento do big-bag formando uma pilha cônica, dois funcionários munidos com pás, em lados opostos da pilha homogeneizam o material formando uma nova pilha. A operação é repetida em uma terceira pilha, buscando transformar o formato de cone para cilindro, com a divisão do cilindro em quatro partes iguais, sendo que os lados opostos são retirados para formação de uma nova pilha. Após a primeira etapa, o material foi submetido à segunda etapa de quarteamento e homogeneização, agora com pouco menos de 50% do material inicial, no caso do pó do forno panela, de 750 kg para 356 kg em função das perdas. (Ver Figura 4):

Figura 4 - Vista da segunda etapa de quarteamento e homogeneização do pó do forno panela

Na sequência foram realizados as terceira, quarta e quinta etapas de quarteamento e homogeneização (Ver Figura 5, quinta etapa de quarteamento e homogeneização).

Figura 5 - Vista da quinta etapa de quarteamento e homogeneização

Após a quinta etapa de quarteamento e homogeneização restaram 18 kg da amostra inicial, sendo assim foram separados 10 kg e armazenados em dez recipientes plásticos de 1 kg cada para evitar contaminação e absorção de umidade, para os ensaios e análises subsequentes das amostras (Ver Figura 6).

Figura 6: Vista dos dez recipientes com as amostras para os ensaios e análises.

Apêndice E – Dados da produção experimental do Aglomerado pré- fundido (APF) – primeira fase

Da mesma forma que efetuada a produção do APF experimental com a mistura 1, as matérias primas para a composição da mistura 2 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg. As matérias primas foram colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 6 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 6,37 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 7,0 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 46,920 kg de mistura, foi separado 0,808 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,100 kg de carvão para ignição da mistura 2. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Tempo de sinterização por perda de carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1180	62
14	1180	68
16	1180	68
18	1180	68
19	1000	130
20	1050	240
21	850	390
22	880	460
23	800	460
24	800	470
25	700	450
26	780	430
28	750	360
30	750	300
35	770	125
40	800	120
45	860	95
50	900	80

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 2 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 2 a seguir, o peso do APF produzido foi 38,553 kg, foi separado 0,704 kg de APF para análises químicas:

Tabela 2 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 2

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	5,128
9,5	8,680
6,5	6,605
< 6,5	18,140

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 2 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 46,920 kg
- Peso do APF: 38,553 kg
- Peso da água: 0,050 kg
- Peso do coque: 2,100 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 40,703
- Perda de massa = peso da mistura – 40,703 = 6,217 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 13,25%.

Para a composição da mistura 3, foi efetuada uma alteração na formulação inicial, o teor de 8% pó de forno panela foi substituído por carepa, considerando que a fluorita cerâmica já possui suficiente teor de cal para atuar como aglomerante. Assim sendo, a mistura 3 R1 ficou com a seguinte composição, conforme tabela 3, a seguir:

Tabela 3 – Composição da Mistura 3 R1

Mistura 3 R1	
Pó de FEA	45%
Pó de FP	0%
Carepa	46,5%
Coque	3,0%
Fluorita cerâmica	5,5%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 3 R1 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 8 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 3,24 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 4,934 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 51,254 kg de mistura, foi separado 1,032 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,100 kg de carvão para ignição da mistura 3 R1. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Tempo de sinterização por perda de carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1200	70
14	1200	70
16	1200	70
18	1100	100
19	1080	190

20	1050	300
21	1000	370
22	950	400
23	900	400
24	880	400
25	850	380
26	850	360
28	850	300
30	850	260
35	850	190
40	850	140
45	900	110
50	900	90

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 3 R1 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 5 a seguir, o peso do APF produzido foi 43,682 kg, foi separado 0,834 kg de APF para análises químicas:

Tabela 5 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 3 R1

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	2,878
9,5	5,644
6,5	10,800
< 6,5	24,360

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 3 R1 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 51,254 kg
- Peso do APF: 43,682 kg
- Peso da água: 0,020 kg
- Peso do coque: 2,100 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 45,802
- Perda de massa = peso da mistura – 45,802 = 5,452 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 10,63%.

Para a composição da mistura 4, a exemplo da mistura 3 foi efetuada uma alteração na formulação inicial, o teor de 8% pó de forno panela foi substituído por carepa, considerando que a fluorita cerâmica já possui suficiente teor de cal para atuar como aglomerante. Assim sendo, a mistura 4 R1 ficou com a seguinte composição, conforme tabela 6, a seguir:

Tabela 6 - Composição da Mistura 4 R1

Mistura 4 R1	
Pó de FEA	35%
Pó de FP	0%
Carepa	55%
Coque	5,0%
Fluorita cerâmica	5,0%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 4 R1 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 8 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 5,09 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 7,270 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 43,465 kg de mistura, foi separado 2,018 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,100 kg de carvão para

ignição da mistura 4 R1. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 7 a seguir:

Tabela 7 – Tempo de sinterização por perda de carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1100	68
14	940	360
16	880	455
18	780	470
19	710	450
20	700	425
21	695	400
22	695	360
23	690	330
24	700	300
25	700	260
26	700	245
28	700	195
30	715	160
35	780	105
40	800	82
45	880	65
50	880	56

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 4 R1 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 8 a seguir, o peso do APF produzido foi 37,538 kg, foi separado 2,018 kg de APF para análises químicas:

Tabela 8 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 4 R1

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	5,726
9,5	7,265
6,5	10,082
< 6,5	14,465

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 4 R1 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 43,465 kg
- Peso do APF: 37,538 kg
- Peso da água: 0,022 kg
- Peso do coque: 3,500 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 41,060
- Perda de massa = peso da mistura – 41,060 = 2,405 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 6,02%.

Para a composição da mistura 5, foi considerada a mesma condição das misturas anteriores, o teor de 8% de pó de panela foi substituído por carepa. Assim sendo, a mistura 5 R1 ficou com a seguinte composição de acordo com a Tabela 9:

Tabela 9 – Composição da Mistura 5 R1:

Mistura 5 R1	
Po de FEA	40%
Po de FP	0%
Carepa	49%
Coque	5%
Fluorita cerâmica	6%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 5 R1 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 6 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 6,93 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 6,0 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 49,356 kg de mistura, foi separado 2,126 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,100 kg de carvão para ignição da mistura 6 R1. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 10 a seguir:

Tabela 10 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1100	65
14	1050	129
16	980	287
18	900	400
19	850	472
20	800	481
21	750	500
22	700	440
23	700	330
24	750	204
25	750	285
26	750	340
28	700	315
30	700	280
35	730	212
40	750	168
45	780	114
50	800	80

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 5R1 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 11 a seguir, o peso do APF produzido foi 40,920 kg, foi separado 1,200 kg de APF para análises químicas:

Tabela 11 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 5R1

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	7,230
9,5	9,705
6,5	9,255
< 6,5	14,720

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 5R1 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 49,356 kg
- Peso do APF: 40,920 kg
- Peso da água: 0,028 kg
- Peso do coque: 3,500 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 44,448
- Perda de massa = peso da mistura – 44,448 = 4,908 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 9,94%.

Para a composição da mistura 6, foi considerada a mesma condição das misturas anteriores, o teor de 8% de pó de panela foi substituído por carepa. Assim sendo, a mistura 6 R1 ficou com a composição mostrada na tabela 12, a seguir:

Tabela 12 – Composição da Mistura 6R1

Mistura 6 R1	
Po de FEA	45%

Po de FP	0%
Carepa	45%
Coque	5%
Fluorita cerâmica	5%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 6 R1 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 6 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 3,68 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 6,168 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 52,265 kg de mistura, foi separado 1,818 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,100 kg de carvão para ignição da mistura 6 R1. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 13 a seguir:

Tabela 13 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1200	68
14	1080	78
16	1020	240
18	900	400
19	880	510
20	810	530
21	800	530
22	780	500
23	780	470
24	760	450
25	760	420
26	750	390
28	750	330
30	750	290
35	780	195
40	800	140

45	750	100
50	890	85

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 6R1 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 14 a seguir, o peso do APF produzido foi 41,254 kg, foi separado 1,844 kg de APF para análises químicas:

Tabela 14 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 6R1

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	2,304
9,5	13,710
6,5	8,815
< 6,5	16,425

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 6R1 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 52,265 kg
- Peso do APF: 41,254 kg
- Peso da água: 0,032 kg
- Peso do coque: 3,500 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 44,786
- Perda de massa = peso da mistura – 44,786 = 7,479 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 14,31%.

Para a composição da mistura 7, também o teor de 8% de pó de panela foi substituído por carepa. Assim sendo, a mistura 7 R1 ficou com a seguinte composição que pode ser vista na Tabela 15, a seguir:

Tabela 15 – Composição da Mistura 7R1

Mistura 7 R1	
Po de FEA	50%
Po de FP	0%
Carepa	41,5%
Coque	3%
Fluorita cerâmica	5,5%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 7 R1 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 6 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 7,86 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 7,845 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 44,988 kg de mistura, foi separado 1,024 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,100 kg de carvão para ignição da mistura 7 R1. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 16 a seguir:

Tabela 16 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1200	70
14	1150	70
16	1120	80
18	1120	80
19	1100	100
20	1080	180
21	1050	290
22	1000	320
23	980	340
24	950	340
25	900	330
26	900	320

28	880	280
30	880	240
35	880	160
40	900	120
45	950	90
50	1000	80

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 7R1 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 17 a seguir, o peso do APF produzido foi 37,960 kg, foi separado 1,012 kg de APF para análises químicas:

Tabela 17 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 7R1

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	2,036
9,5	5,484
6,5	7,420
< 6,5	23,020

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 7R1 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 44,988 kg
- Peso do APF: 37,960 kg
- Peso da água: 0,056 kg
- Peso do coque: 2,100 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 40,116

- Perda de massa = peso da mistura – 45,802 = 4,872 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 10,82%.

A composição da mistura 8 manteve as mesmas considerações anteriores desta forma, a mistura 8 R1 ficou com a seguinte composição, conforme a Tabela 18 a seguir:

Tabela 18 – Composição da Mistura 8 R1

Mistura 8 R1	
Po de FEA	50%
Po de FP	0%
Carepa	40,0%
Coque	5%
Fluorita cerâmica	5%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 8 R1 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 5 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 3,32 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 7,105 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 45,350 kg de mistura, foi separado 0,654 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,100 kg de carvão para ignição da mistura 8 R1. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 19 a seguir:

Tabela 19 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1200	60
14	1180	80
16	1030	100
18	1000	250

19	950	300
20	950	320
21	900	320
22	850	300
23	850	290
24	850	280
25	850	260
26	850	260
28	850	220
30	850	190
35	850	130
40	900	100
45	930	80
50	950	60

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 8R1 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 20 a seguir, o peso do APF produzido foi 38,621 kg, foi separado 1,034 kg de APF para análises químicas:

Tabela 20 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 8R1

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	1,746
9,5	8,960
6,5	6,665

< 6,5	21,250
-------	--------

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 8R1 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 45,350 kg
- Peso do APF: 38,621 kg
- Peso da água: 0,032 kg
- Peso do coque: 2,100 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 40,753
- Perda de massa = peso da mistura – 40,753 = 4,597 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 10,13%.

Apêndice F – Planejamento de experimentos

Planejamento de experimentos com delineamento fatorial

						EFEITOS PRINCIPAIS				INTERAÇÕES duplas								INTERAÇÕES triplas				Zn mistura	Zn APF	Taxa Remoção Zn
etapas	CAREPA	PÓ DO FEA	COQUE	FLUORITA		A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD					
1	54%	35%	5%	6%	100%	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	8,39	7,26	13,47%		
2	39%	50%	5%	6%	100%	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	12,9	12,2	5,43%		
3	52%	35%	7%	6%	100%	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	9,57	6,43	32,81%		
4	37%	50%	7%	6%	100%	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	12,4	10,5	15,32%		
5	51%	35%	5%	9%	100%	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	8,99	7,84	12,73%		
6	36%	50%	5%	9%	100%	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	16,5	11,7	23,09%		
7	49%	35%	7%	9%	100%	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	8,63	5,87	31,96%		
8	34%	50%	7%	9%	100%	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1					
						-0,1761	-0,0515	0,024	0,00855	0,05152	-0,0242	-0,0085	-0,0722	0,01231	-0,0489	0,07216	-0,0123	0,04893	-0,0485					
EFEITOS PRINCIPAIS				Tx Zn	1																			
	A	CAREPA	-17,6%		2	A	-0,1347	-0,1347	-0,135	-0,1347	0,13468	0,13468	0,13468	0,13468	0,13468	-0,1347	-0,1347	-0,1347	-0,1347					
	B	PÓ DO FEA	-5,2%		3	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	C	COQUE	2,4%		4	C	-0,0543	0,0543	-0,054	-0,0543	-0,0543	0,05426	0,05426	-0,0543	-0,0543	0,05426	0,05426	0,05426	-0,0543	0,05426				
INTERAÇÕES DUPLAS	D	FLUORITA	0,9%		5	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
					6		-0,3281	-0,3281	0,328	-0,3281	0,32811	-0,3281	0,32811	-0,3281	0,32811	-0,3281	0,32811	-0,3281	0,32811					
	AB	(CAREPA)*(PÓ DO FEA)	5,2%		7	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	AC	(CAREPA)*(COQUE)	-2,4%		8	F	-0,1532	0,1532	0,153	-0,1532	-0,1532	0,15323	0,15323	-0,1532	-0,1532	-0,1532	0,15323	0,15323	-0,1532					
	AD	(CAREPA)*(FLUORITA)	-0,9%		9	G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	BC	(PÓ DO FEA)*(COQUE)	-7,2%		10	H	-0,1279	-0,1279	-0,128	0,12792	0,12792	-0,1279	0,12792	-0,1279	-0,1279	-0,1279	0,12792	0,12792	0,12792					
INTERAÇÕES TRIPLAS	BD	(PÓ DO FEA)*(FLUORITA)	1,2%		11	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	CD	(COQUE)*(FLUORITA)	-4,9%		12	J	-0,2309	0,2309	-0,291	0,23091	-0,2309	0,23091	-0,2309	-0,2309	0,23091	-0,2309	0,23091	-0,2309	0,23091					
					13		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	ABC	(CAREPA)*(PÓ DO FEA)*(COQUE)	7,2%		14	K	-0,3198	-0,3198	0,32	0,31981	0,31981	-0,3198	-0,3198	-0,3198	-0,3198	0,31981	0,31981	0,31981	-0,3198	-0,3198				
	ABD	(CAREPA)*(PÓ DO FEA)*(FLUORITA)	-1,2%		15	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	ACD	(CAREPA)*(COQUE)*(FLUORITA)	4,9%		16	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					

- A Negativo: diminuição da relação C/Zn com a elevação do percentual de carepa na composição da mistura e consequente aumento da relação Fe/C;
- B Negativo: aumento do percentual de pó de forno elétrico também diminui relação C/Zn;
- C Positivo: aumento do percentual de C aumenta a remoção de zinco;
- D Positivo: aumento do percentual de fluorita cerâmica (CaF₂) aumenta a remoção de zinco;
- AB Positivo: a carepa (material grosso) aumenta a fluidodinâmica da mistura e facilita a passagem de gases para remoção de zinco;
- AC Negativo: mesma condição de "A";
- AD Negativo: mesma condição de "A";
- BC Negativo: aumento do percentual de pó de forno elétrico implica em aumentar o percentual de carbono;
- BD Positivo:

Apêndice G – Dados da produção experimental do Aglomerado pré- fundido (APF) – segunda fase

A segunda fase do experimento seguiu a mesma metodologia empregada na primeira fase. A mistura 1 ficou com a seguinte composição, conforme a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Composição da Mistura 1

Mistura 1	
Pó de FEA	35%
Carepa	54%
Coque	5%
Fluorita cerâmica	6%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 1 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 7 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 4,10 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 11,148 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 46,215 kg de mistura, foi separado 1,862 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,150 kg de carvão para ignição da mistura 1. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	980	122
14	900	247
16	850	365
18	780	420

19	750	435
20	750	445
21	700	459
22	650	443
23	650	436
24	650	428
25	650	396
26	680	371
28	680	332
30	680	290
35	700	185
40	720	144
45	780	106
50	800	81

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 1 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 3 a seguir, o peso do APF produzido foi 38,814 kg, foi separado 1,0 kg de APF para análises químicas:

Tabela 3 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 1

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	7,805
9,5	8,895
6,5	4,104

< 6,5	18,010
-------	--------

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 1 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 46,215 kg
- Peso do APF: 38,814 kg
- Peso da água: 0,032 kg
- Peso do coque: 3,500 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 42,346
- Perda de massa = peso da mistura – 42,346 = 3,869 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 8,37%.

A mistura 2 ficou com a seguinte composição, conforme a Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Composição da Mistura 2

Mistura 2

Pó de FEA	50%
Carepa	39%
Coque	5%
Fluorita cerâmica	6%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 2 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 6 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 7,20 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 9,705 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 44,805 kg de mistura, foi separado 1,740 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,140 kg de carvão para ignição da mistura 2. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a

temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1000	23
14	1000	50
16	1000	62
18	1000	69
19	1000	80
20	1000	142
21	980	197
22	950	222
23	950	268
24	880	376
25	850	378
26	850	340
28	680	273
30	780	203
35	780	193
40	800	132
45	850	114
50	850	92

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 2 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 6 a seguir, o peso do APF produzido foi 37,811 kg, foi separado 1,0 kg de APF para análises químicas:

Tabela 6 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 2

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	3,348
9,5	7,465
6,5	4,098
< 6,5	22,900

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 2 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 44,805 kg
- Peso do APF: 37,811 kg
- Peso da água: 0,032 kg
- Peso do coque: 3,500 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 41,343
- Perda de massa = peso da mistura – 41,343 = 3,462 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 7,72 %.

A mistura 3 ficou com a seguinte composição, conforme a Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 – Composição da Mistura 3

Mistura 3	
Pó de FEA	35%

Carepa	52%
Coque	7%
Fluorita cerâmica	6%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 3 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 7 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 3,94 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 8,135 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 49 014 kg de mistura, foi separado 1,620 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,150 kg de carvão para ignição da mistura 3. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 8 a seguir:

Tabela 8 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1050	60
14	1000	110
16	1000	170
18	1000	225
19	1000	260
20	1000	320
21	950	365
22	950	402
23	900	445
24	850	473

25	850	481
26	820	483
28	800	467
30	780	440
35	650	352
40	700	254
45	780	200
50	800	180

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 55 minutos, a mistura 3 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 8 a seguir, o peso do APF produzido foi 40,050 kg, foi separado 1,620 kg de APF para análises químicas:

Tabela 9 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 3

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	0
9,5	10,930
6,5	8,500
< 6,5	20,620

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 3 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 49,014 kg
- Peso do APF: 40,050 kg

- Peso da água: 0,024 kg
- Peso do coque: 4,900 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 44,074.
- Perda de massa = peso da mistura – 44,074 = 4,040 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 8,24 %.

A mistura 4 ficou com a seguinte composição, conforme a Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 – Composição da Mistura 4

Mistura 4	
Pó de FEA	50%
Carepa	37%
Coque	7%
Fluorita cerâmica	6%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 4 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 7 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 5,62 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 8,875 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 47,920 kg de mistura, foi separado 2,302 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,150 kg de carvão para ignição da mistura 4. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 11 a seguir:

Tabela 11 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1000	61
14	1000	111
16	950	220
18	900	319
19	900	343
20	750	362
21	700	370
22	680	363
23	650	357
24	650	345
25	650	333
26	650	322
28	680	298
30	700	277
35	750	236
40	700	204

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 40 minutos, a mistura 4 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 12 a seguir, o peso do APF produzido foi 47,9200 kg, foi separado 2,302 kg de APF para análises químicas:

Tabela 12 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 4

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	0
9,5	6,655
6,5	8,615
< 6,5	22,985

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 4 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 47,920 kg
- Peso do APF: 38,255 kg
- Peso da água: 0,034 kg
- Peso do coque: 4,900 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 43,189
- Perda de massa = peso da mistura – 43,189 = 4,986 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 9,87 %.

A mistura 5 ficou com a seguinte composição, conforme a Tabela 13 a seguir:

Tabela 13 – Composição da Mistura 5

Mistura 5

Pó de FEA	35%
-----------	-----

Carepa	51%
Coque	5%
Fluorita cerâmica	9%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 5 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 7 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 4,28 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 9,160 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 51,990 kg de mistura, foi separado 1,560 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,152 kg de carvão para ignição da mistura 5. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 14 a seguir:

Tabela 14 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1100	57
14	1100	86
16	1050	105
18	1000	258
19	1000	290
20	980	330
21	950	360
22	900	468

23	800	495
24	780	520
25	750	508
26	700	497
28	750	488
30	780	432
35	800	325
40	800	212
45	800	136
50	800	91

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 50 minutos, a mistura 5 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 15 a seguir, o peso do APF produzido foi 42,998 kg, foi separado 1,850 kg de APF para análises químicas:

Tabela 15 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 5

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	0
9,5	12,020
6,5	7,430
< 6,5	23,548

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 5 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 51,990 kg
- Peso do APF: 42,998 kg
- Peso da água: 0,034 kg
- Peso do coque: 3,500 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 46,532.
- Perda de massa = peso da mistura – 46,532 = 5,458 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 10,49 %.

A mistura 6 ficou com a seguinte composição, conforme a Tabela 16 a seguir:

Tabela 16 – Composição da Mistura 6

Mistura 6

Pó de FEA	50%
Carepa	36%
Coque	5%
Fluorita cerâmica	9%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 6 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 7 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 3,65 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 9,530 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 50,670 kg de mistura, foi separado 2,936 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,150 kg de carvão para ignição da mistura 6. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 17 a seguir:

Tabela 17 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1100	50
14	1100	55
16	1100	56
18	1100	56
19	1100	56
20	1100	57
21	1100	57
22	1100	57
23	1100	58
24	1100	58
25	1100	59
26	1100	59
28	1100	59
30	1100	59
35	1150	76
40	1000	313
45	850	564
48	800	545
53	800	443
58	850	324
1h03	850	216
1h08	900	181

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 68 minutos, a mistura 6 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 18 a seguir, o peso do APF produzido foi 43,100 kg, foi separado 2,936 kg de APF para análises químicas:

Tabela 18 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 6

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	0
9,5	6,420
6,5	11,730
< 6,5	24,950

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 6 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 50,670 kg
- Peso do APF: 43,100 kg
- Peso da água: 0,034 kg
- Peso do coque: 3,500 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 46,634
- Perda de massa = peso da mistura – 46,634 = 4,036 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 7,96 %.

A mistura 7 ficou com a seguinte composição, conforme a Tabela 19 a seguir:

Tabela 19 – Composição da Mistura 7

Mistura 7	
Pó de FEA	35%

Carepa	49%
Coque	7%
Fluorita cerâmica	9%

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

As matérias primas da mistura 7 foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 70 kg e colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 7 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura foi de 3,02 %. A panela de sinterização foi preparada com um berço de 7,01 kg de agregado siderúrgico com granulometria variando de 25 a 50 mm e adição de 52,890 kg de mistura, foi separado 2,636 kg de mistura para análises químicas. Em seguida foi colocado 0,152 kg de carvão para ignição da mistura 7. O tempo de ignição foi de 1 minuto. Os parâmetros de controle monitorados foram a temperatura do ar e a perda de carga do sistema de exaustão. Os dados podem ser verificados na tabela 20 a seguir:

Tabela 20 – Tempo de sinterização por perda e carga e temperatura

Tempo de sinterização (min)	Perda de carga (mmca)	Temperatura (°C)
10	1000	45
14	1000	52
16	1000	52
18	1000	52
19	1000	52
20	1000	52
21	1000	52
22	1000	52
23	1000	52
24	1000	52

25	1000	52
26	1000	52
28	1000	52
30	980	54
35	980	120
40	900	472
45	900	535
50	880	374
55	850	227
60	850	178

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O tempo de sinterização foi de 60 minutos, a mistura 7 foi estabilizada pelo período de 1 minuto e colocada no deck de peneiras para separação granulométrica, o resultado pode ser visto na tabela 21 a seguir, o peso do APF produzido foi 41,890 kg, foi separado 2,636 kg de APF para análises químicas:

Tabela 21 – Relação entre faixa granulométrica e peso do APF 7

Granulometria (mm)	Peso (kg)
50	0
19,5	7,280
9,5	9,940
< 6,5	24,670

Fonte: Tabela elaborada pelo autor (2012)

O experimento 7 apresentou os seguintes parâmetros:

- Peso da mistura: 52,890 kg
- Peso do APF: 41,890 kg
- Peso da água: 0,020 kg

- Peso do coque: 4,900 kg
- Cálculo da perda de massa: peso do APF + peso do coque + peso da água = 46,810
- Perda de massa = peso da mistura – 46,810 = 6,080 kg, ou seja, a perda de voláteis foi de 11,49 %.

Apêndice H – Detalhes da planta piloto de sinterização - Fluxo ascendente

A planta piloto de fluxo ascendente utiliza o mesmo misturador intensivo tipo Eirich, visto no Apêndice D, uma panela de síter, conforme Figura 1 e um maçarico alimentado por uma rede de ar comprimido ($p=5 \text{ kgf/cm}^2$) e um botijão de gás liquefeito de petróleo – GLP com capacidade de 45 kg, para proporcionar a mistura gás/ar na proporção de 1:20, conforme Figura 2.

Figura 1 – Vista da panela de síter apoiada sobre quatro tijolos refratários

Figura 2 – Vista da planta piloto de sinterização de fluxo ascendente

Na Figura 3 pode ser visto o processo de queima da mistura 1, composta de 75% de pó de forno elétrico, 20% de coque e 5% de fluorita cerâmica.

Figura 3: Vista do processo de sinterização ascendente da mistura 1.

Para controle da temperatura foi utilizado um medidor de temperatura portátil Salvterm 1200 k, type K thermometer, conforme Figura 4.

Figura 4: Termômetro Salvterm

O berço da panela foi efetuado com a utilização de escória de forno elétrico conforme a Figura 5.

Figura 5: Panela de sinterização ascendente com berço de escória

Apêndice I – Dados da produção experimental do Aglomerado pré- fundido (APF) – terceira fase

Na terceira fase as matérias primas para a composição da mistura 1 inicial foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 30 kg. Da mesma forma que efetuada a produção do APF experimental das 1ª e 2ª fases as matérias primas foram colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 7 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. A umidade da mistura 1 foi de 4,49 %. As pelotas foram peneiradas com peneira de 9,525 mm e separadas 9,530 kg de pelotas com dimensão menor de 9,5. A panela de sinterização foi preparada com a colocação de 1,175 kg de carvão vegetal para proporcionar o acendimento do maçarico, em seguida foi colocado na panela 2,230 kg da mistura 1 e posteriormente foram sendo dispostas bateladas de 1,2 kg da mistura 1 a cada 10 minutos, quando as pelotas estavam incandescentes, formando 6 camadas subsequentes e totalizando 9,53 kg. Foi utilizado berço com 3,926 kg de escória de forno elétrico. A temperatura máxima do processo foi de 1230 °C. Os parâmetros de controle monitorados foram a quantidade de mistura e o tempo para adição de cada batelada. Foram produzidos 4,650 kg de APF conforme pode ser visto nas Figuras 1 e 2. Os materiais voláteis da mistura compostos por umidade (0,427 kg), coque (1,906 kg) e flúor (0,953 kg), totalizaram 3,286 kg. Considerando o carvão vegetal (1,175 kg) adicionado a mistura (9,530 kg) para ignição do processo, e o resultante APF (4,650 kg) é possível concluir que ocorreu emissão atmosférica de 6,055 kg.

Figura 1 - APF produzido no processo de sinterização ascendente, onde é mostrado o APF selecionado para análises (a), o APF selecionado para testemunha (b) e a mistura que compõe o APF (c).

Figura 2: APF produzido no experimento 1 é mostrado em detalhe.

Para os seis experimentos complementares da terceira fase, as matérias primas foram separadas e pesadas, considerando uma mistura total de 10 kg. Da mesma forma que efetuada a produção da mistura 1 inicial, as matérias primas foram colocadas no misturador intensivo Eirich, que operou por 7 minutos com giro de 47 rpm e inclinação de 45°. As pelotas foram peneiradas com peneira de 9,525 mm e separadas 07 kg de pelotas com dimensão menor de 9,5. A panela de sinterização foi preparada com a colocação de 1,0 kg de carvão vegetal para proporcionar o acendimento do maçarico, em seguida foi colocado na panela 2,0 kg da mistura 1 e posteriormente foram sendo dispostas bateladas de 1,0 kg da mistura 1 a cada 10 minutos, quando as pelotas estavam incandescentes, formando 6 camadas subsequentes e totalizando 7,0 kg. Foi utilizado berço com 3,0 kg de escória de forno elétrico. A temperatura máxima do processo foi de 1230 °C. Os parâmetros de controle monitorados foram a quantidade de mistura e o tempo para adição de cada batelada.

A umidade do experimento 1 foi de 4,09 %. Foram produzidos 5,390 kg de APF. Os materiais voláteis da mistura compostos por umidade (0,286 kg), coque (1,400 kg) e flúor (0,350 kg), totalizaram 2,036 kg. Considerando o carvão vegetal (1,0 kg) adicionado a mistura (7,0 kg) para ignição do processo, e o resultante APF (5,390 kg) é possível concluir que ocorreu emissão atmosférica de 2,610 kg.

A umidade do experimento 2 foi de 4,62 %. Foram produzidos 5,056 kg de APF. Os materiais voláteis da mistura compostos por umidade (0,323 kg), coque (1,400 kg) e flúor (0,700 kg), totalizaram 2,423 kg. Considerando o carvão vegetal (1,0 kg) adicionado a mistura (7,0 kg) para ignição do processo, e o resultante APF (5,056 kg) é possível concluir que ocorreu emissão atmosférica de 2,944 kg.

A umidade do experimento 3 foi de 4,36 %. Foram produzidos 5,710 kg de APF. Os materiais voláteis da mistura compostos por umidade (0,305 kg), coque (1,400 kg) e flúor (1,050 kg), totalizaram 2,755 kg. Considerando o carvão vegetal (1,0 kg) adicionado a mistura (7,0 kg) para ignição do processo, e o resultante APF (5,710 kg) é possível concluir que ocorreu emissão atmosférica de 2,290 kg.

A umidade do experimento 4 foi de 4,54 %. Foram produzidos 5,920 kg de APF. Os materiais voláteis da mistura compostos por umidade (0,317 kg), coque (0,490 kg) e flúor (0,350 kg), totalizaram 1,157 kg. Considerando o carvão vegetal (1,0 kg) adicionado a mistura (7,0 kg) para ignição do processo, e o resultante APF (5,920 kg) é possível concluir que ocorreu emissão atmosférica de 2,080 kg.

A umidade do experimento 5 foi de 3,89 %. Foram produzidos 6,004 kg de APF. Os materiais voláteis da mistura compostos por umidade (0,272 kg), coque (0,490 kg) e flúor (0,700 kg), totalizaram 1,462 kg. Considerando o carvão vegetal (1,0 kg) adicionado a mistura (7,0 kg) para ignição do processo, e o resultante APF (6,004 kg) é possível concluir que ocorreu emissão atmosférica de 1,996 kg.

A umidade do experimento 6 foi de 4,13 %. Foram produzidos 5,780 kg de APF. Os materiais voláteis da mistura compostos por umidade (0,289 kg), coque (0,490 kg) e flúor (1,050 kg), totalizaram 1,829 kg. Considerando o carvão vegetal (1,0 kg) adicionado a mistura (7,0 kg) para ignição do processo, e o resultante APF (5,780 kg) é possível concluir que ocorreu emissão atmosférica de 2,220 kg.

ANEXOS

Anexo A – Exemplos de usinas de tratamento de resíduos da *Paul Wurt*

São apresentadas a seguir, três plantas de tratamento de resíduos, com diferentes processos e diferentes materiais:

1. A planta *PRIMUS*® em *PRIMOREC* Luxemburgo
2. A planta baseada em RHF em Lucchini, Itália
3. A planta *PRIMUS*® em *DRAGON STEEL*, Taiwan

1 A planta *PRIMOREC* em Differdange

A planta *PRIMOREC*, mostrada na Figura 1, está localizada em Differdange, Luxemburgo, e é a primeira baseada no processo *PRIMUS*®.

Figura 1 - Vista da planta *PRIMOREC* em Luxemburgo

O início da planta foi em 2003, ela foi projetada para tratar 60.000 t/ano de pó do FEA e 15.000 t/ano de lama de laminação. Ela inclui um MHF com 8 soleiras de 7,7m de diâmetro interno e 10 MW FEA com 3,5m de diâmetro interno. Por tonelada de insumo ela tipicamente produz 0,25t de ferro gusa, 0,35t de pó secundário (concentrado de óxido de zinco) e 0,2t de escoria enquanto consome uma média de 0,32t de carvão e 1,05 MWh de eletricidade.

2 Planta RHF em Lucchini, Piombino

A planta mostrada na Figura 2 foi projetada para o tratamento de cerca de 60.000 t/ano (base seca) de materiais de limalha de ferro e tem operado com sucesso como um estágio de pré-redução de um novo processo de fabricação de ferro (*REDSMELT NST*). O principal material de alimento tem sido a combinação de alto forno e pó do BOF. Com a mistura certa desses materiais, pelotas que se auto-reduzem podem ser produzidas, isto é, pelotas que contem carbono suficiente do pó do alto forno para a completa redução do ferro contido sem necessidade de carvão adicional. A decisão da conversão da planta em instalação de tratamento de resíduo foi tomada e seu início foi marcado para o começo de 2010.

Figura 2 – Vista da planta RHF em Piombino, Itália e seu forno de soleira rotativa.

Para esse propósito, alguns equipamentos adicionais serão instalados para permitir operação de materiais úmidos e espessos e produzir um produto metalizado estável em forma de briquete de ferro (HBI), apropriado para ser reciclado em um alto forno. Como resultado do uso desses blocos, para cada tonelada de HBI carregado para o alto forno, os seguintes benefícios são esperados:

- economizar cerca de 1,1 toneladas de pelotas comercializadas
- economizar cerca de 250 kg de coque
- aumentar a produtividade em 0,5t de metal quente.

3 Planta *PRIMUS®* em *Dragon Steel*, Taiwan

A *DRAGON STEEL* já está operando um forno elétrico a arco e armazena por enquanto o pó resultante do FEA. Na verdade, uma nova completa planta siderúrgica integrada está sendo construída. Portanto a *DRAGON STEEL* teria a obrigação legal de implantar uma solução para a reciclagem dos resíduos incluindo pó e também lama do alto forno, do BOF e da planta de sinter. Assim o processo *PRIMUS®* foi escolhido devido a sua flexibilidade em ser alimentado por misturas.

A planta *PRIMUS®* é projetada para vários diferentes casos de produção:

- 100% pó recente do FEA ou do estoque 85.000 t/ano
- 60% pó do FEA e 40% BOF / Alto Forno 100.000 t/ano

A *PAUL WURTH* recebeu o pedido para esse projeto em 2006. O procedimento de aquecimento dos fornos foi iniciado em fevereiro de 2009. A primeira corrida a quente foi feita em abril de 2009. Em junho os testes de desempenho foram realizados com sucesso.

Resíduos como pó de forno elétrico são transformados em pelotas e carregados juntos com um carvão altamente volátil e sedimentos não pré-tratados no MHF, onde o primeiro passo da redução acontece. O material pré-reduzido é derretido em um FEA, os dois fornos estão ligados a um tratamento comum de gás de exaustão que consiste dos seguintes passos:

- câmara pós-combustão
- têmpera
- filtro para recuperação de óxido
- filtro de adsorção para controle da dioxina incluindo uma injeção de carbono ativo
- ventilador
- chaminé

Os produtos vendáveis são ferro gusa, óxido *PRIMUS®* e a escória inerte.

As Figuras 3, 4, 5 e 6 seguintes, dão uma impressão das diferentes áreas da planta:

Figura 3 – Vista da unidade de manuseio de materiais

Figura 4 – Vista do forno elétrico a arco

Figura 5 – Vista da fundição com canhão de lama & máquina de perfurar

Figura 6 – Vista da unidade de tratamento de gás de exaustão.

Os seguintes resultados de operação poderiam ser atingidos durante o teste de desempenho em Junho de 2009:

- Capacidade de produção: 260 – 280 t de pó do FEA por dia
- Consumo de gás natural: 20 -30 Nm³/ t alimentação
- Remoção de Zn: > 99%
- Consumo da unidade de derretimento: 1100 KWh/t alimentação
- Qualidade do óxido: Zn 52 – 55 %, Fe 3 – 5 %, Cl 8 – 10%

Anexo B – CCDM – Análise granulométrica em amostras de cerâmica

CERTIFICADO CPC12-000364

Cliente: Arcelor Mittal Brasil Ltda.
 Contato: Endrigo Mael de Lima
 Endereço: Avenida Marechal Castelo Branco, 101 – Bairro: Vila Rezende
 Cidade: Piracicaba Estado: SP CEP: 13412-900
 OS: 4011/5008-0
 Data de recebimento da amostra: 26/03/2012
 Período de realização: 26/03/12 – 03/04/12

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA EM AMOSTRAS CERÂMICAS

1 – OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo caracterizar cinco amostras cerâmicas por meio da determinação da distribuição granulométrica via peneiramento e sedígrafo.

2 – INTRODUÇÃO

A identificação dada às amostras está indicada na Tabela 1.

Tabela 1 – Identificação das amostras.

Identificação do CCDM	Identificação do Cliente
CPC120355	Pó de Despoeiramento do Forno Elétrico a Arco – Pó do FEA
CPC120356	Pó de Despoeiramento do Forno Panela – Pó FPAN
CPC120357	Carepa
CPC120358	Fluorita Cerâmica
CPC120359	Coque

3 – METODOLOGIA

Na picnometria de gás hélio, a densidade real de materiais sólidos foi obtida utilizando-se o princípio de Arquimedes de deslocamento de fluidos, neste caso gás hélio. Para tal, foi utilizado o equipamento Ultrapycnometer 1000 da Quantachrome.

A distribuição de tamanho de partículas via sedígrafo foi obtida através decantação do material (Lei de Stokes) em equipamento Sedigraph 5000ET da Micromeritics.

CERTIFICADO CPC12-000364

Para a distribuição granulométrica por peneiramento o material recebido foi colocado em estufa a 110°C por 24 horas para a retirada de umidade. Em seguida, colocou-se no conjunto de peneiras que vibraram por 10 minutos. O material retido em cada peneira foi pesado na balança e suas porcentagens foram calculadas.

4 – RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos no ensaio de picnometria de gás hélio.

Tabela 2 – Resultado obtido no ensaio determinação da densidade real.

Identificação do CCDM	Densidade Real (g/cm ³)	Desvio Padrão
CPC120355	4,47	0,01
CPC120356	3,08	0,01
CPC120357	5,22	0,00
CPC120358	2,49	0,00
CPC120359	2,07	0,00

A tabela 2 apresenta os resultados da distribuição granulométrica obtida por sedígrafo das amostras CPC120355, CPC120356, CPC120357 e CPC120358.

Tabela 2 – Resultados dos diâmetros obtidos em 10, 50 e 90% da curva de distribuição do tamanho de partículas.

% de material acumulado	Diâmetro (µm)			
	CPC120355	CPC120356	CPC120357	CPC120358
10	1,05	1,00	4,80	2,40
50	4,00	3,60	27,00	15,00
90	25,00	14,00	50,00	25,00

Observação: Gráficos e dados do ensaio anexos a esse certificado.

A Tabela 3 apresenta o resultado da distribuição granulométrica obtida por peneiramento da amostra CPC120359.

Tabela 3 – Resultados da distribuição granulométrica por peneiramento da amostra CPC120359.

Malha (Mesh)	Material retido (%)
10	18,18
14	9,09
18	4,54
25	9,09
30	4,57
50	6,81
80	47,72
Fundo	0,00
Total	100,00

São Carlos, 03 de abril de 2012.

ANNA ELISA B. DOS SANTOS
 Técnica de laboratório
 E-mail - anna@ccdm.ufscar.br

MÉRILIN C. S. FERNANDES, MSc.
 Pesquisadora
 E-mail - merilin@ccdm.ufscar.br

Cláusulas de responsabilidade:

- A amostragem relativa a este documento é de responsabilidade do cliente e estes resultados referem-se apenas às amostras ensaiadas (não extensivo a outras amostras);
- As amostras serão mantidas de acordo com o estabelecido no orçamento/contrato. Em caso de ensaios destrutivos serão mantidos somente os registros do serviço. Os registros deste serviço serão mantidos por 5 anos.
- A reprodução deste documento deve ser realizada na íntegra. O laboratório não é responsável em caso de interpretação ou uso indevido que se possa fazer deste documento. Reprodução de partes do documento requer aprovação por escrita do laboratório.

— FIM DO DOCUMENTO —

55

Distribuição de Tamanho de Partícula

Amostra CPC 80355 Data 2/4/12
 Densidade 9,51 g/cc Líquido ACVA Densidade 1,014 g/cc Viscosidade 0,014 cp
 Preparação ULTRA 50-30 Contador φ wds 40 m-60v1
 Temperatura 20 °C Taxa 50 Diam. inicial 50 μm

Diâmetro Estórico Equivalente, μm

32

Distribuição de Tamanho de Partícula

Amostra CRK 12356 Data 2/4/12
 Densidade 3.07 g/cc Líquido H₂O Operador W. S. D. S. 360
 Preparação ULTRA 50-30 Temperatura 20 °C
 Taxa Diam. inicial 50 µm

Diâmetro Esférico Equivalente, µm

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
 Centro de Ciências e Tecnologia
 Departamento de Engenharia de Materiais

Distribuição de Tamanho de Partícula

Amostra CPC 520357Densidade 521 g/cc Líquido H₂OPreparação ULTRA 3'Densidade 9512 g/cc Viscosidade 1000 cpData 2/4/12Operador W. de S. 27Temperatura 20 °CTaxa 5 Diam. inicial 5 µm

Diâmetro Estático Equivalente, µm

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
 Centro de Ciências e Tecnologia
 Departamento de Engenharia de Materiais

Distribuição de Tamanho de Partícula

58

Data 2/4/10
 Observador W. de S. M. A.
 Temperatura 20 °C
 Taxa 80 Diam. inicial 80 µm

Amostra EPC 120358
 Densidade 2,49 g/cc Líquido H₂O Densidade 0,999 g/cc Viscosidade 0,01 cp
 Preparação ULTRA 50-31

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
 Centro de Ciências e Tecnologia
 Departamento de Engenharia de Materiais

Anexo C – Análise por DRX das misturas e APF's da primeira fase

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 125/12

DATA: 10/04/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

IDENT. LCT: 043-0140.HPF

AMOSTRA: Mistura Experimento 1

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9536}\text{O}$	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3	
01-075-0306	Halita	NaCl	
01-085-1290	Óxido de chumbo	PbO	
01-072-1652	Calcita	CaCO_3	
01-089-7102	Zincita	ZnO	pp
01-075-1522	Quartzo	SiO_2	pp
	Fase amorfa		pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

 Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

 Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

 Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 127/12

DATA: 10/04/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura Experimento 2

IDENT. LCT: 043-0142.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9536}\text{O}$	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3	
01-085-1290	Óxido de chumbo	PbO	
01-075-0306	Halita	NaCl	
01-089-7102	Zincita	ZnO	pp
01-075-1522	Quartzo	SiO_2	pp
	Fase amorfa		pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Juliana Livi Antonietti
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 129/12

DATA: 10/04/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura Experimento 3

IDENT. LCT: 043-0144.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9538}\text{O}$	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3	
01-072-1652	Calcita	CaCO_3	
01-075-0306	Halita	NaCl	
01-085-1290	Óxido de chumbo	PbO	
01-089-7102	Zincita	ZnO	pp
01-075-1522	Quartzo	SiO_2	pp
	Fase amorfa		pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 266/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 4

IDENT. LCT: 130-0472.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9536}\text{O}$	Wustita	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-074-0534	Óxido de zinco	ZnO		
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
00-041-1476	Silvita	KCl	Silvita	
01-085-0797	Quartzo	SiO_2	Quartzo	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.polit.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.polit.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 268/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 5

IDENT. LCT: 130-0474.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9536}\text{O}$	Wustita	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-074-0534	Óxido de zinco	ZnO		
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
00-041-1476	Silvita	KCl	Silvita	
01-085-0797	Quartzo	SiO_2	Quartzo	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP - www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 270/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 6

IDENT. LCT: 138-0492.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9536}\text{O}$	Wustita	
01-074-0534	Óxido de zinco	ZnO		
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
00-041-1476	Silvita	KCl	Silvita	
01-085-0797	Quartzo	SiO_2	Quartzo	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 272/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 7

IDENT. LCT: 138-0494.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9536}\text{O}$	Wustita	
01-074-0534	Óxido de zinco	ZnO		
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
00-041-1476	Silvita	KCl	Silvita	
01-085-0797	Quartzo	SiO_2	Quartzo	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 274/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 8

IDENT. LCT: 138-0496.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1350	Magnetita	$\text{Fe}_{2,937}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,294}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9536}\text{O}$	Wustita	
01-074-0534	Óxido de zinco	ZnO		
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
00-041-1476	Silvita	KCl	Silvita	
01-085-0797	Quartzo	SiO_2	Quartzo	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 126/12

DATA: 10/04/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF Experimento 1

IDENT. LCT: 043-0141.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	84*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	14
01-081-2273	Magnesita	$\text{Mg}(\text{CO}_3)$	2

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Juliana Livi Antonassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 128/12

DATA: 10/04/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF Experimento 2

IDENT. LCT: 043-0143.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	80*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	15
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9538}\text{O}$	3
01-081-2273	Magnesita	$\text{Mg}(\text{CO}_3)$	2

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 130/12

DATA: 10/04/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF Experimento 3

IDENT. LCT: 043-0145.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	88*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-084-0311	Óxido de ferro	Fe_2O_3	6
01-081-2273	Magnesita	$\text{Mg}(\text{CO}_3)$	3
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	3

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 265/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 4

IDENT. LCT: 130-0471.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2957}\text{O}_4$	73*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	9
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3	7
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9538}\text{O}$	4
01-074-1607	Gehlenita	$\text{Ca}_2(\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7)$	4
01-086-2348	Magnesita	$\text{Mg}(\text{CO}_3)$	3
01-072-1651	Calcita	CaCO_3	<1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 267/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 5

IDENT. LCT: 130-0473.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	81*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	12
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9538}\text{O}$	4
01-086-2348	Magnesita	$\text{Mg}(\text{CO}_3)$	3
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3	<1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 269/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 6

IDENT. LCT: 138-0491.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	93*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	4
01-086-2348	Magnesita	$\text{Mg}(\text{CO}_3)$	3
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3	<1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
 Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP - www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 271/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 7

IDENT. LCT: 138-0493.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	97*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-086-2348	Magnesita	$\text{Mg}(\text{CO}_3)$	2
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3	1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 273/12 DRX

DATA: 12/06/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 8

IDENT. LCT: 138-0495.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	86*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3	5
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	4
01-086-2348	Magnesita	$\text{Mg}(\text{CO}_3)$	3
01-074-1880	Wustita	$\text{Fe}_{0,9536}\text{O}$	2

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Anexo D –Análise por FRX das misturas e APF's da primeira fase

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 612/12 AQ **REQ.** 552/12 **DATA:** 14/05/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

1. MÉTODO: Os teores apresentados foram determinados por análise semiquantitativa sem padrões (*standardless*) com análise de elementos químicos de flúor a urânio, em espectrômetro por fluorescência de raios X Axios Advanced, marca PANalytical.

2. RESULTADOS: Análise semiquantitativa, valores expressos em % de óxidos, base calcinada, normalizada a 100%.

Nº LCT	4270/12	4271/12	4272/12	4273/12	4274/12	4275/12	4276/12	4277/12
Amostra	APF 1	Mistura 1	APF 2	Mistura 2	APF 3	Mistura 3	APF 4	Mistura 4
F	0,84	0,22	0,03	0,70	nd	0,10	nd	0,24
Na ₂ O	1,87	2,38	1,50	4,09	1,26	2,02	1,04	3,79
MgO	1,97	3,66	2,00	4,34	0,77	1,30	1,87	1,25
Al ₂ O ₃	0,29	0,36	0,28	0,41	0,25	0,33	1,52	0,30
SiO ₂	4,89	2,94	5,08	3,39	3,76	2,49	7,17	2,36
P ₂ O ₅	0,33	0,23	0,35	0,27	0,36	0,28	0,38	0,27
SO ₃	0,07	1,79	0,07	1,89	0,03	1,11	0,06	1,19
Cl	0,04	1,37	0,03	1,54	0,04	1,70	0,07	1,30
K ₂ O	0,04	1,08	0,03	1,16	0,03	0,87	0,05	0,70
CaO	7,28	7,14	7,67	7,56	5,66	5,18	9,27	5,35
TiO ₂	0,07	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,21	0,05
V ₂ O ₅	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,02	nd
Cr ₂ O ₃	0,17	0,16	0,18	0,16	0,16	0,16	0,22	0,16
MnO	1,41	1,45	1,53	1,53	1,16	1,11	1,47	1,05
Fe ₂ O ₃	72,7	65,1	71,9	60,3	75,7	69,9	70,1	70,0
NiO	0,05	0,14	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
CuO	0,14	0,18	0,15	0,16	0,12	0,19	0,11	0,19
ZnO	7,61	9,24	8,67	10,4	10,1	11,4	6,16	10,3
Br	nd	0,08	nd	0,10	nd	0,10	nd	0,09
SrO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02
ZrO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
MoO ₃	0,01	0,23	0,01	0,02	0,01	0,02	nd	0,01
SnO ₂	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07	0,06	nd	0,05
BaO	0,04	nd	nd	nd	0,05	nd	0,06	nd
WO ₃	nd	1,05	0,18	0,65	nd	0,31	nd	0,22
PbO	0,11	1,04	0,20	1,15	0,36	1,29	0,13	1,09

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT Poli/USP
Química - CRQ 04105009-4^ªR

Freud S. Campbell
Pesquisador do LCT Poli/USP
Químico - CRQ 04200380-4^ªR

Certificado 612/12 AQ Página 1 de 2

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

Nº LCT	4278/12	4279/12	4280/12	4281/12	4282/12	4283/12	4284/12	4285/12
Amostra	APF 5	Mistura 5	APF 6	Mistura 6	APF 7	Mistura 7	APF 8	Mistura 8
F	0,03	0,24	nd	0,07	0,02	0,05	nd	0,02
Na ₂ O	1,20	4,05	1,09	4,15	0,83	4,39	1,14	3,12
MgO	0,58	1,22	0,82	1,29	0,85	1,29	1,71	1,19
Al ₂ O ₃	0,20	0,31	0,29	0,33	0,25	0,34	1,13	0,32
SiO ₂	3,86	2,54	4,21	2,73	3,57	2,95	6,44	2,82
P ₂ O ₅	0,36	0,28	0,40	0,29	0,34	0,33	0,47	0,30
SO ₃	0,03	1,11	0,12	1,22	0,02	1,20	0,07	1,20
Cl	0,03	1,55	0,14	1,58	0,06	1,73	0,11	1,63
K ₂ O	0,03	0,79	0,09	0,82	0,04	0,92	0,07	0,90
CaO	6,15	5,47	5,76	5,22	5,61	5,93	7,56	4,96
TiO ₂	0,07	0,05	0,08	0,06	0,06	0,08	0,14	0,08
V ₂ O ₅	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,02	nd
Cr ₂ O ₃	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,26	0,21
MnO	1,09	1,06	1,24	1,20	1,33	1,31	1,69	1,28
Fe ₂ O ₃	76,8	68,5	74,1	66,2	74,5	62,6	68,8	64,9
NiO	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,06	0,04	0,05
CuO	0,15	0,19	0,16	0,19	0,12	0,21	0,13	0,22
ZnO	8,94	10,8	11,0	12,7	11,8	14,6	9,74	14,7
Br	nd	0,10	nd	0,11	nd	0,12	nd	0,14
SrO	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
ZrO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	nd
MoO ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SnO ₂	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,08	0,05	0,10
BaO	nd	nd	nd	nd	0,05	nd	0,05	nd
WO ₃	nd	0,25	nd	0,24	nd	nd	nd	0,22
PbO	0,23	1,20	0,26	1,37	0,25	1,65	0,32	1,62

<< = traços (menor que 0,01%), nd = elemento não detectado, gf = ganho ao fogo, mi = massa insuficiente.

Anexo E – Análise do extrato lixiviado dos APF's da primeira fase

BIOAGRI
a Mérieux NutriSciences Company

Ensaios
NBR ISO/IEC
17025

e

CRL 0172

RESULTADOS ANALITICOS DA AMOSTRA RESIDUO
APF 1

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ **NBR 10004 - Massa Bruta**

NBR 10004:2004 - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	---	>60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	10,6	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	2	< 2	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	99,9	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	< 0,1	250 (c)

⇒ **NBR 10005 - Lixiviado**

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	0,053	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,479	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,906	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	5	20,7	150
Mercurio	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,1
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	0,019	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Piridina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	2E-5	< 2E-5	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,2

Página 2 de 7 / B.A.: 51287/2012-3

Bioagri Ambiental - Piracicaba - SP, Rua Ajoval Martins, 201 - Dois Córregos - Piracicaba - SP - CEP: 13420-750 - Fone: (19) 3417.4700 - Fax: (19) 3417.4711 - vendas@bioagriambiental.com.br

Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos Anexo G da NBR 10004.

Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da Massa Bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

- Massa Bruta:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.
- Solubilizado:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Arsênio, Chumbo, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.
- Lixiviado:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

Revisores

Débora Fernandes da Silva
 Marcus Vinicius Nascimento de Lima
 Nereida Aparecida Bongiorno
 André Alex Colletti

Chave de Validação: 1970e574c76625628d57e5a5b3b6d992

 André Alex Colletti
 Coordenador de Projeto
 CRQ 04447446 - 4ª Região

RESULTADOS ANALITICOS DA AMOSTRA RESIDUO

APF 2

Coletor da Amostra: Interessado

⇒NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	---	>60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	10,6	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	2	< 2	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	99,9	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	< 0,1	250 (c)

⇒NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	0,056	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,853	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	2,0	1,0
Cromo	mg/L	0,01	0,012	5,0
Fluoreto	mg/L	5	24,7	150
Merúrio	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,1
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxiclora	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Piridina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	2E-5	< 2E-5	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,2

Página 2 de 7 / B.A.: 51291/2012-3

Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos Anexo G da NBR 10004.

Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da Massa Bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

Massa Bruta: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Solubilizado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Arsênio, Chumbo, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.

Lixiviado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: O parâmetro Chumbo ultrapassou o limite máximo permitido.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe I - Resíduo Perigoso.

Revisores

Marcos Ceccatto
 Débora Fernandes da Silva
 Marcus Vinicius Nascimento de Lima
 Nereida Aparecida Bongiorno
 André Alex Colletti

Chave de Validação: 7d1107981eb6470955f73a9dd6882478

 André Alex Colletti
 Coordenador de Projeto
 CRQ 04447446 - 4ª Região

VII.1
 RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA RESÍDUO

RESULTADOS ANALITICOS DA AMOSTRA RESIDUO APF 3

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	---	>60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	10,2	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	2	< 2	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	99,9	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,2	< 0,2	250 (c)

⇒ NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	0,043	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,490	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	0,015	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	1,8	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	5	6,8	150
Mercurio	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,1
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Cloroformio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Piridina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	2E-5	< 2E-5	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,2

Página 2 de 7 / B.A.: 51322/2012-3

Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos Anexo G da NBR 10004.

Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da Massa Bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

- Massa Bruta:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.
- Solubilizado:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Arsênio, Cádmio, Chumbo, Ferro, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.
- Lixiviado:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros Chumbo ultrapassam os limites máximos permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe I - Resíduo Perigoso.

Revisores

Marcos Ceccatto
 Débora Fernandes da Silva
 Marcus Vinicius Nascimento de Lima
 Nereida Aparecida Bongiorno
 André Alex Colletti

Chave de Validação: 1b9930d422fb23573b6d48359eb3d0eb

 André Alex Colletti
 Coordenador de Projeto
 CRQ 04447446 - 4ª Região

RESULTADOS ANALITICOS DA AMOSTRA RESIDUO

APF - 4

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	10,9	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	2	< 2	500 (e)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	99,9	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,2	< 0,2	250 (e)

⇒ NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	0,015	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,598	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,800	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	5	6,9	150
Mercurio	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,1
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Piridina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	2E-5	< 2E-5	0,003
Lindano (γ-BHC)	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,2
Metiletilcetona	mg/L	5	< 5	200

Página 2 de 7 / B.A.: 90348/2012-0

BIOAGRI		a Mérieux NutriSciences Company		Ensaio NBR ISO/IEC 17025 CRL 0172	
Massa Bruta:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.				
Solubilizado:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Arsênio, Chumbo, Índice de Fenóis, Ferro, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.				
Lixiviado:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.				
Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.					
Revisores					
Simone Pereira do Nascimento					
Débora Fernandes da Silva					
Rogério Caldorin					
Nereida Aparecida Bongiorno					
Guilherme Aguiar					
Chave de Validação: f7349399a1b12f27feb7fae4acd9cc48					
		 Nereida Ap. Bongiorno Coordenador de Projeto CRQ 04409149 - 4ª Região			
Página 7 de 7 / B.A.: 90348/2012-0					

BIOAGRI		a Mérieux NutriSciences Company		Ensaio NBR ISO/IEC 17025		CRL 0172																																																																							
Massa Bruta:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.																																																																												
Solubilizado:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Arsênio, Chumbo, Índice de Fenóis, Ferro, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.																																																																												
Lixiviado:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.																																																																												
Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.																																																																													
Revisores																																																																													
Simone Pereira do Nascimento																																																																													
Débora Fernandes da Silva																																																																													
Rogério Caldorin																																																																													
Nereida Aparecida Bongiorno																																																																													
Guilherme Aguiar																																																																													
Chave de Validação: f7349399a1b12f27feb7fae4acd9cc48	Nereida Ap. Bongiorno Coordenador de Projeto CRQ 04409149 - 4ª Região																																																																												
<p>ANEXO I - RESULTADOS DA ANÁLISE DE LABORATÓRIO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parâmetro</th> <th>Unidade</th> <th>Resultado</th> <th>Limite Máximo Permitido (NBR 10004:2004)</th> <th>Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arsênio</td> <td>mg/L</td> <td>0,002</td> <td>< 0,002</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Chumbo</td> <td>mg/L</td> <td>0,002</td> <td>< 0,002</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Cádmio</td> <td>mg/L</td> <td>0,0001</td> <td>< 0,0001</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Cromo</td> <td>mg/L</td> <td>3</td> <td>< 5</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Cobalto</td> <td>mg/L</td> <td>0,01</td> <td>< 0,01</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Copelo</td> <td>mg/L</td> <td>0,01</td> <td>< 0,01</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Couros</td> <td>mg/L</td> <td>0,001</td> <td>< 0,001</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Ferro</td> <td>mg/L</td> <td>0,01</td> <td>< 0,01</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Manganês</td> <td>mg/L</td> <td>0,01</td> <td>< 0,01</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Níquel</td> <td>mg/L</td> <td>0,01</td> <td>< 0,01</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Zinco</td> <td>mg/L</td> <td>0,01</td> <td>< 0,01</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Índice de Fenóis</td> <td>mg/L</td> <td>0,01</td> <td>< 0,01</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Fluoreto</td> <td>mg/L</td> <td>0,01</td> <td>< 0,01</td> <td>OK</td> </tr> </tbody> </table>								Parâmetro	Unidade	Resultado	Limite Máximo Permitido (NBR 10004:2004)	Classificação	Arsênio	mg/L	0,002	< 0,002	OK	Chumbo	mg/L	0,002	< 0,002	OK	Cádmio	mg/L	0,0001	< 0,0001	OK	Cromo	mg/L	3	< 5	OK	Cobalto	mg/L	0,01	< 0,01	OK	Copelo	mg/L	0,01	< 0,01	OK	Couros	mg/L	0,001	< 0,001	OK	Ferro	mg/L	0,01	< 0,01	OK	Manganês	mg/L	0,01	< 0,01	OK	Níquel	mg/L	0,01	< 0,01	OK	Zinco	mg/L	0,01	< 0,01	OK	Índice de Fenóis	mg/L	0,01	< 0,01	OK	Fluoreto	mg/L	0,01	< 0,01	OK
Parâmetro	Unidade	Resultado	Limite Máximo Permitido (NBR 10004:2004)	Classificação																																																																									
Arsênio	mg/L	0,002	< 0,002	OK																																																																									
Chumbo	mg/L	0,002	< 0,002	OK																																																																									
Cádmio	mg/L	0,0001	< 0,0001	OK																																																																									
Cromo	mg/L	3	< 5	OK																																																																									
Cobalto	mg/L	0,01	< 0,01	OK																																																																									
Copelo	mg/L	0,01	< 0,01	OK																																																																									
Couros	mg/L	0,001	< 0,001	OK																																																																									
Ferro	mg/L	0,01	< 0,01	OK																																																																									
Manganês	mg/L	0,01	< 0,01	OK																																																																									
Níquel	mg/L	0,01	< 0,01	OK																																																																									
Zinco	mg/L	0,01	< 0,01	OK																																																																									
Índice de Fenóis	mg/L	0,01	< 0,01	OK																																																																									
Fluoreto	mg/L	0,01	< 0,01	OK																																																																									

RESULTADOS ANALITICOS DA AMOSTRA RESIDUO APF - 5

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	---	>60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	9,7	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	2	< 2	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	100,0	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,2	< 0,2	250 (c)

⇒ NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,878	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	0,309	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	17,0	1,0
Cromo	mg/L	0,01	0,016	5,0
Fluoreto	mg/L	10	24,9	150
Mercurio	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,1
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Piridina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	2E-5	< 2E-5	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,2

Página 2 de 7 / B.A.: 90353/2012-0

Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos Anexo G da NBR 10004.

Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da Massa Bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

Massa Bruta: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Solubilizado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Arsênio, Cádmio, Chumbo, Ferro, Manganês, Sódio, Zinco, Cloreto ultrapassam os limites máximos permitidos.

Lixiviado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros Chumbo ultrapassam os limites máximos permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe I - Resíduo Perigoso.

Obs: Não foi possível atingir o Limite de Quantificação especificado no Anexo G. (Solubilizado) para Fluoreto, devido a natureza da amostra. No entanto, esse fato não altera a classificação do Resíduo.

Revisores

Simone Pereira do Nascimento
 Débora Fernandes da Silva
 Rogério Caldorin
 Ana Lúcia Cella
 Sérgio Stenico Junior
 Nereida Aparecida Bongiorno
 Guilherme Aguiar

Chave de Validação: f8d1a387eb775dc70bf8a926aac6b5

 Nereida Ap. Bongiorno
 Coordenador de Projeto
 CRQ 04409149 - 4ª Região

RESULTADOS ANALITICOS DA AMOSTRA RESIDUO

APF - 6

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	10,0	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	< 1	500 (e)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	99,9	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,2	< 0,2	250 (e)

⇒ NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	1,0	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	0,270	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	19,1	1,0
Cromo	mg/L	0,01	0,041	5,0
Fluoreto	mg/L	10	19,3	150
Mercurio	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,1
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Piridina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	2E-5	< 2E-5	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,2
Metililectona	mg/L	5	< 5	200

Página 2 de 7 / B.A.: 90355/2012-0

- Massa Bruta:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.
- Solubilizado:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Arsênio, Chumbo, Cloreto ultrapassam os limites máximos permitidos.
- Lixiviado:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros Chumbo ultrapassam os limites máximos permitidos.
- Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe I - Resíduo Perigoso.

Revisores

Simone Pereira do Nascimento
 Débora Fernandes da Silva
 Rogério Caldorin
 Nereida Aparecida Bongiorno
 Guilherme Aguiar

Chave de Validação: 537e10b366e4423c166bf77e468b9fbc

Milena Falqueto
 Controle de Qualidade
 CRBio 46737101 D - 1ª Região

RESULTADOS ANALITICOS DA AMOSTRA RESIDUO

APF - 7

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	10,3	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	2	< 2	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	100,0	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,2	< 0,2	250 (c)

⇒ NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	0,016	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,247	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	0,019	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,436	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	5	< 5	150
Mercúrio	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,1
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Piridina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	2E-5	< 2E-5	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,2
Metiletilcetona	mg/L	5	< 5	200

Página 2 de 7 / B.A.: 86062/2012-0

Massa Bruta: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Solubilizado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Chumbo, Índice de Fenóis, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.

Lixiviado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

Revisores

Marcos Cecatto
 Débora Fernandes da Silva
 Rogério Caldorin
 Ana Lúcia Cella
 Sérgio Stenico Junior
 Nereida Aparecida Bongiorno
 André Alex Colletti

Chave de Validação: e1b2b87bf2bf86e9368ad75dd6541c70

Milena Falqueto
 Controle de Qualidade
 CRBio 46737101 D - 1ª Região

RESULTADOS ANALITICOS DA AMOSTRA RESIDUO

APF - 8

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	---	>60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	9,9	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	2	< 2	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	100,0	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,2	< 0,2	250 (c)

⇒ NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,468	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,487	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	5	< 5	150
Mercurio	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,1
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloroto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Cloroformio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Piridina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	2E-5	< 2E-5	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,2

Página 2 de 7 / B.A.: 86065/2012-3

Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos Anexo G da NBR 10004.

Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da Massa Bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

- Massa Bruta:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.
- Solubilizado:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Chumbo, Índice de Fenóis, Cloreto, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.
- Lixiviado:** Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

Revisores

Marcos Ceccatto
 Simone Pereira do Nascimento
 Débora Fernandes da Silva
 Rogério Caldorin
 Ana Lúcia Cella
 Sérgio Stenico Junior
 Nereida Aparecida Bongiorno

Chave de Validação: 505e1985d55b08393f6547007da954ed

Milena Falqueto
 Controle de Qualidade
 CRBio 46737101 D - 1ª Região

ENSAIO 0111101 D - 1.ª Região
 Controle de Qualidade
 19/08/2012

Chave de Validação: 505e1985d55b08393f6547007da954ed

Versão: 1.000
 Descrição: 1.000
 Data: 19/08/2012
 Autor: 1.000
 Revisor: 1.000
 Aprovado: 1.000
 Data: 19/08/2012

Para fins de classificação ambiental, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

Justificativa: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Chumbo, Índice de Fenóis, Cloreto, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.

Observações: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Assinatura: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Anexo F - Análise por DRX das misturas e APF's da segunda fase

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
 Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-030 - São Paulo - SP - www.lct.poli.usp.br
 Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 539/12 DRX **DATA:** 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 01 **IDENT. LCT:** 307-1307.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	Wustita	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
01-073-0380	Silvita	KCl	Silvita	
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	Fluorita	
01-075-1522	Quartzo	SiO_2	Quartzo	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

 Prof. Dr. Henrique Kahn
 Coordenador do LCT Poli/USP

 Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
 Pesquisadora do LCT Poli/USP

 M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
 Pesquisadora do LCT Poli/USP

Certificado nº 539/12 DRX

Página 1 de 2

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.ict.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: ict@ict.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 540/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 02

IDENT. LCT: 307-1308.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	Wustita	
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
01-073-0380	Silvita	KCl	Silvita	
01-084-0308	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-075-0576	Óxido de zinco	ZnO		
01-075-1522	Quartzo	SiO_2	Quartzo	pp
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	Fluorita	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 541/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 03

IDENT. LCT: 307-1309.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	Wustita	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
00-041-1476	Silvita	KCl	Silvita	
01-075-0576	Óxido de zinco	ZnO		pp
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	Fluorita	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP. www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 542/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 04

IDENT. LCT: 307-1310.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	Wustita	
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
00-041-1476	Silvita	KCl	Silvita	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-075-1522	Quartzo	SiO_2	Quartzo	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 543/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 05

IDENT. LCT: 307-1311.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	Wustita	
01-084-0309	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	Fluorita	
01-073-0380	Silvita	KCl	Silvita	pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.ict.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: ict@ict.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 544/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 06

IDENT. LCT: 307-1312.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,909}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-073-0380	Silvita	KCl	Silvita	
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	Wustita	
01-089-7102	Zincita	ZnO	Zincita	pp
01-084-0308	Óxido de ferro	Fe_2O_3		pp
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE IDENTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 594/12 DRX

DATA: 10/12/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: Mistura 7 (23/10/12)

IDENT. LCT: 390-1702.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	Magnetita	e/ou
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	Franklinita	e/ou
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,049}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	Jacobsita	
01-075-0296	Silvita	KCl	Silvita	
01-075-0306	Halita	NaCl	Halita	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	Wustita	
01-077-0191	Óxido de zinco	ZnO		
01-084-0308	Óxido de ferro	Fe_2O_3		
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	Fluorita	
	Fase amorfa			pp

Nota: pp = possível presença

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 545/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 01

IDENT. LCT: 307-1313.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	82*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	8
01-084-0308	Óxido de ferro	Fe_2O_3	5
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	3
01-086-2342	Calcita	CaCO_3	1
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn

Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari

Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Lívi Antoniassi

Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 546/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 02

IDENT. LCT: 307-1314.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	90*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	7
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	3
01-086-2342	Calcita	CaCO_3	<1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 547/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 03

IDENT. LCT: 307-1315.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	86*
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	8
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	5
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	1
01-086-2342	Calcita	CaCO_3	<1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
 Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 548/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 04

IDENT. LCT: 307-1316.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	91*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	5
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	3
01-086-2342	Calcita	CaCO_3	1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi-Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.polit.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.polit.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 549/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 05

IDENT. LCT: 307-1317.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	78*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	8
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	7
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	6
01-086-2342	Calcita	CaCO_3	1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 550/12 DRX

DATA: 06/11/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 06

IDENT. LCT: 307-1318.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD - PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1348	Magnetita	$\text{Fe}_{2,957}\text{O}_4$	82*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,908}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	8
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,8630}\text{O}$	4
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	4
01-086-2342	Calcita	CaCO_3	1
01-084-0308	Óxido de ferro	Fe_2O_3	1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 593/12 DRX

DATA: 10/12/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

AMOSTRA: APF 7 (23/10/12)

IDENT. LCT: 390-1701.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

A quantificação das fases foi feita pelo método de Rietveld utilizando estruturas cristalinas do banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (2007).

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo; a quantificação das fases identificadas foi obtida considerando-se a somatória dos espinélios presentes (magnetita, franklinita e jacobsita), os quais apresentam estruturas cristalinas semelhantes, porém com variações de composição química, refletidas pela presença de Zn, Mn e Mg.

ICDD	Nome do composto	Fórmula Química	% estimada
01-086-1346	Magnetita	$\text{Fe}_{2,962}\text{O}_4$	60*
01-089-7412	Franklinita	ZnFe_2O_4	
01-085-1561	Jacobsita	$(\text{Mg}_{0,735}\text{Mn}_{0,284}\text{Zn}_{0,017}\text{Fe}_{1,909}\text{Al}_{0,048}\text{Mn}_{0,045})\text{O}_4$	
01-074-1882	Wustita	$\text{Fe}_{0,9630}\text{O}$	23
00-041-1474	Cuspidina	$\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\text{F}_2$	10
01-089-4794	Fluorita	CaF_2	6
01-086-2342	Calcita	CaCO_3	1

Obs: * = conteúdo de espinélios (magnetita e/ou franklinita e/ou jacobsita).

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta). É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT Poli/USP

M.Sc. Juliana Livi Antoniassi
Pesquisadora do LCT Poli/USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
 Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

FASES IDENTIFICADAS

Anexo G – Análise por FRX das misturas e APF's da segunda fase

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 1407/12 AQ **REQ.** 1227/12 **DATA:** 11/10/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

1. MÉTODO: Os teores apresentados foram determinados por análise semiquantitativa sem padrões (*standardless*) com análise de elementos químicos de flúor a urânio, em espectrômetro por fluorescência de raios X Axios Advanced, marca PANalytical. Perda ao Fogo (PF) efetuada a 1.050°C por 1h.

2. RESULTADOS: Análise semiquantitativa, valores expressos em % de óxidos, normalizados a 100%.

Nº LCT	9769/12	9770/12	9771/12	9772/12	9773/12	9774/12
Amostra	Mistura 01	Mistura 02	Mistura 03	Mistura 04	Mistura 05	Mistura 06
F	0,42	2,06	1,45	1,50	3,16	2,15
Na ₂ O	3,38	4,32	3,82	4,50	3,50	4,32
MgO	1,87	1,96	1,79	1,84	2,26	1,62
Al ₂ O ₃	0,50	0,37	0,31	0,33	0,37	0,35
SiO ₂	3,50	2,91	2,55	2,78	2,98	2,82
P ₂ O ₅	0,23	0,29	0,25	0,30	0,22	0,31
SO ₃	1,17	1,29	1,15	1,41	1,17	1,21
Cl	1,27	1,85	1,38	1,64	1,45	1,81
K ₂ O	0,64	0,93	0,67	0,84	0,70	0,85
CaO	3,88	4,72	3,81	4,45	5,68	8,56
TiO ₂	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,08
Cr ₂ O ₃	0,15	0,19	0,15	0,16	0,13	0,18
MnO	0,89	1,11	0,91	1,09	0,93	1,25
Fe ₂ O ₃	63,5	53,9	63,4	54,8	60,0	46,9
NiO	0,05	0,05	0,03	0,05	0,02	0,02
CuO	0,15	0,18	0,15	0,18	0,14	0,20
ZnO	8,39	12,9	9,57	12,4	8,99	16,5
SeO ₂	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	nd
Br	0,07	0,11	0,08	0,10	0,08	0,14
SrO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
MoO ₃	0,01	<<	0,01	0,01	0,01	nd
SnO ₂	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07
Sb ₂ O ₃	nd	nd	0,02	0,02	0,02	0,02
BaO	nd	0,05	nd	nd	nd	0,07
PbO	0,95	1,44	1,07	1,36	1,01	1,82
PF	8,82	9,29	7,30	10,1	7,11	8,75

Prof. Dr. Henrique Kahn
 Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Juliana Ratti
 Pesquisadora do LCT Poli/USP
 Química - CRQ 04105009-4ªR

Freud S. Campbell
 Pesquisador do LCT Poli/USP
 Químico - CRQ 04200380-4ªR

Certificado 1407/12 AQ

Página 1 de 2

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

Nº LCT	9775/12	9776/12	9777/12	9778/12	9779/12	9780/12
Amostra	APF 01	APF 02	APF 03	APF 04	APF 05	APF 06
F	1,44	0,94	1,44	0,72	3,28	3,11
Na ₂ O	2,12	2,16	1,72	2,19	1,92	2,17
MgO	1,48	1,45	1,08	1,47	1,60	1,31
Al ₂ O ₃	0,61	0,33	0,24	0,30	0,26	0,35
SiO ₂	5,02	5,05	3,59	4,87	4,32	5,14
P ₂ O ₅	0,35	0,42	0,29	0,42	0,33	0,44
SO ₃	0,25	0,11	0,15	0,07	0,18	0,13
Cl	0,33	0,04	0,04	0,03	0,10	0,11
K ₂ O	0,21	0,04	0,04	0,03	0,07	0,07
CaO	5,77	5,72	4,00	5,37	6,90	8,28
TiO ₂	0,09	0,09	0,04	0,08	0,07	0,08
V ₂ O ₅	0,01	nd	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	0,19	0,19	0,17	0,18	0,16	0,18
MnO	1,09	1,32	1,07	1,28	1,01	1,26
Fe ₂ O ₃	73,2	69,5	79,4	72,0	71,6	65,1
NiO	0,05	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04
CuO	0,18	0,14	0,14	0,15	0,12	0,13
ZnO	7,26	12,2	6,43	10,5	7,84	11,7
Br	0,01	nd	nd	nd	nd	<<
SrO	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
MoO ₃	0,01	0,01	<<	0,01	0,01	0,01
SnO ₂	0,04	0,07	0,03	0,06	0,05	0,06
Sb ₂ O ₃	nd	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
BaO	nd	0,06	nd	0,04	nd	0,05
PbO	0,26	0,14	0,06	0,16	0,13	0,19
PF	gf	gf	gf	gf	gf	gf

<< = traços (menor que 0,01%), nd = elemento não detectado, gf = ganho ao fogo, mi = massa insuficiente.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT Poli/USP
Química - CRQ 04105009-4^R

Freud S. Campbell
Pesquisador do LCT Poli/USP
Químico - CRQ 04200380-4^R

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 1663/12 AQ

REQ. 1547/12

DATA: 07/12/12

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

1. MÉTODO: Os teores apresentados foram determinados por análise sem padrões (*standardless*) de elementos químicos de flúor a urânio, em espectrômetro por fluorescência de raios X Axios Advanced, marca PANalytical. Perda ao fogo (PF) efetuada a 1.050°C por 1h.

2. RESULTADOS: Valores expressos em % de óxidos, normalizados a 100%.

NºLCT	11842/12	11843/12
Amostra	APF Amostra 07	Mistura 07
F	2,80	3,30
Na ₂ O	1,55	3,45
MgO	0,96	1,59
Al ₂ O ₃	0,32	0,28
SiO ₂	3,61	2,12
P ₂ O ₅	0,26	0,22
SO ₃	0,46	1,23
Cl	0,05	1,40
K ₂ O	0,06	0,65
CaO	6,74	6,12
TiO ₂	0,06	0,04
Cr ₂ O ₃	0,17	0,13
MnO	1,11	0,91
Fe ₂ O ₃	75,6	58,3
NiO	0,04	0,03
CuO	0,14	0,14
ZnO	5,87	8,63
Br	nd	0,08
SrO	0,01	0,01
ZrO ₂	0,02	nd
MoO ₃	0,02	nd
SnO ₂	0,02	0,05
PbO	0,13	0,98
PF	gf	10,4

<< = traços (menor que 0,01%), nd = elemento não detectado, gf = ganho ao fogo, mi = massa insuficiente.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT Poli/USP
Química - CRQ 04105009-4^ªR

Freud S. Campbell
Pesquisador do LCT Poli/USP
Químico - CRQ 04200380-4^ªR

Anexo H – Análise do extrato lixiviado dos APF's da segunda fase

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA APF 1 = Experimento 1

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ NBR 10004 - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	40	> 60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	5,7	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	< 1	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	99,2	
Cianeto (como KCN)	mg/kg	0,1	2,7	250 (e)

⇒ NBR 10005 - Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Amônio	mg/l	0,01	< 0,01	1,0
Hélio	mg/l	0,01	1,2	70,0
Cádmio	mg/l	0,001	0,015	0,5
Chumbo	mg/l	0,01	0,252	1,0
Cromo	mg/l	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/l	5	45,4	150
Mercurio	mg/l	0,00075	< 0,0007	0,1
Prata	mg/l	0,01	< 0,01	5,0
Sódio	mg/l	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/l	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/l	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/l	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/l	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/l	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/l	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/l	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/l	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/l	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/l	30-5	< 30-5	0,003
Benzeno	mg/l	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/l	50-5	< 50-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/l	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloroto de Vinila	mg/l	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/l	0,001	< 0,001	100
Clorobenzila	mg/l	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/l	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/l	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/l	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,001	< 0,001	0,5
Hexaclorocetano	mg/l	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m/p-Cresol)	mg/l	0,002	< 0,002	200
Metocloro	mg/l	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/l	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/l	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/l	0,0005	< 0,0005	0,9
Pinidina	mg/l	5	< 5	5,0
Tetraclorato de Carbono	mg/l	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/l	0,001	< 0,001	4,0
Tonaleno	mg/l	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/l	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/l	20-5	< 20-5	0,003

Página 2 de 8 / R.R.: 46032/2013-3

solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

Massa Bruta: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Solubilidade: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) Cádmio, Chumbo, Selênio, Sódio, Cloro, Flúoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.

Lixiviado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

Obs: A Classificação do resíduo foi efetuada baseando-se somente nos parâmetros analisados.

Revisores

Debora Fernandes da Silva
Rogério Calderin
Sérgio Stenico Junior
André Alex Colletti
Giovana Falcim
Fábio Luis Silva

Chave de Validação:
Valida42994e71379a65b7072e2191e1a

Juliana Bombasero
Coordenadora de Qualidade
CRQ 04069386 - 4ª Região

Valério D. Góes
Coordenador do Controle de Qualidade
CRQ 04056607 - 4ª Região

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA APF 4 - Experimento 2

Coletor da Amostra: Interessado

⇒NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	40	> 60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	10,7	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	< 1	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	99,6	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	1,7	250 (c)

⇒NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Âmônio	mg/L	0,01	0,053	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,603	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,581	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	5	28,5	150
Mercurio	mg/L	0,00075	< 0,00075	0,1
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Sódio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	30-5	< 30-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	50-5	< 50-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloro de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Pindrina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Tosafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	20-5	< 20-5	0,003
Lindano (γ-BHC)	mg/L	50-5	< 50-5	0,2

Página 2 de 8 / R.E.: 46626/2013-3

Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da Massa Bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

Massa Bruta:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.
Solubilidade:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) Arsênio, Chumbo, Sódio, Surfactantes (como LAS), Flúoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.
Lixiviação:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

Obs: A Classificação do resíduo foi efetuada baseando-se somente nos parâmetros analisados.

Revisores

Debora Fernandes da Silva
Rogério Calderin
Sérgio Stencio Junior
André Alex Colletti
Chiovana Falcim
Otilberne Aguiar

Chave de Validação:
a08ca2d15040e0596081789e05564ebb7

Juliana Bombassaro
Control de Qualidade
CRQ 04069986 - 4ª Região

Valério D. Castilho
Coordenador do Controle de Qualidade
CRQ 04056607 - 4ª Região

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA

APF 5 = Experimento 5

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ NBR 10004 - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	40	> 60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	6,5	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	< 1	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	98,7	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	1,4	250 (c)

⇒ NBR 10005 - Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Amônio	mg/L	0,01	0,059	1,0
Ítalo	mg/L	0,01	0,357	70,0
Cálcio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,772	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,2	18,3	150
Merúrio	mg/L	0,000075	< 0,00007	0,1
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Sódio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	30-5	< 30-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	50-5	< 50-5	0,07
Clordano (admixos)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Clorato de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (admixos)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Heptaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Heptaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Heptaclorotano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metiliteno (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metocloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metiliteno (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Pindrin	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloreto	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Tonaleno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	20-5	< 20-5	0,003
Lindano (g-IIIHC)	mg/L	50-5	< 50-5	0,2

Página 2 de 8 / R.E.: 46625/2013-3

Massa Bruta: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Solubilidade: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) Amônio, Chumbo, Sulfeto, Sódio, Surfactantes (como LAS), Cloro, Flúoreto, Sulfato ultrapassam os limites máximos permitidos.

Lixiviado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

Obs: A Classificação do resíduo foi efetuada baseando-se somente nos parâmetros analisados.

Revisores
 Débora Fernandes da Silva
 Rogério Calderin
 Sérgio Stenico Junior
 André Alex Colletti
 Giovana Falcim

Chave de Validação:
 507aG2G6cbad39b1b716de15a4714

Juliano Bombosero
 Controlador de Qualidade
 CRQ 04459386 - 4ª Região

Valério D. Cunha
 Coordenador do Controle de Qualidade
 CRQ 04456607 - 4ª Região

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA

APF 8 = Experimento 4

Coletor da Amostra: Interessado

⇒NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	40	> 60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	10,2	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	< 1	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	100,0	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	0,3	250 (c)

⇒NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Amônio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	1,2	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	0,025	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,292	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	5	68,0	150
Mercúrio	mg/L	0,00075	< 0,00007	0,1
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Sódio	mg/L	0,008	0,057	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	30-5	< 30-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benz(a)pireno	mg/L	30-5	< 30-5	0,07
Clordano (admixos)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloroto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (admixos)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorociclohexano	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroceteno	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m/p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Pindrina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloreto de Etano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Tenafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroeteno	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	20-5	< 20-5	0,003

Página 2 de 8 / R.R.: 46662/2013-3

solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

Massa Bruta: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Solubilizado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) Arsênio, Chumbo, Sódio, Cloro, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.

Lixiviado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

Obs: A Classificação do resíduo foi efetuada baseando-se somente nos parâmetros analisados.

Revisores

Debora Fernandes da Silva
Rogério Calderin
Sérgio Stenico Junior
André Alex Colletti
Giovana Falcim
Guilherme Aguiar
Daniela Rodrigues Blandoria
Fábio Luis Silva

Chave de Validação:
1e937e62e23cfd84a1b8a7e4058438d

Juliana Bombassero
Juliana Bombassero
Controladora de Qualidade
CRQ 04469386 - 4ª Região

Valéria D. Gama
Valéria D. Gama
Coordenadora do Controle de Qualidade
CRQ 04456607 - 4ª Região

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA

APF 9 = Experimento 5

Coletor da Amostra: Interessado

⇒ NBR 10004 - Massa Bruta

NBR 10004:2004 - Massa Bruta				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	40	> 60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	11,1	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	< 1	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	67,7	
Cianeto (como KCN)	mg/kg	0,1	1,2	250 (c)

⇒ NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Amônio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,203	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,057	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	9,4	150
Mercurio	mg/L	0,000075	< 0,00007	0,1
Níquel	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Sódio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Bisfenol A (BPA)	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,07
Clordano (admisos)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloroto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (admisos)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexaclorocetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m/p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Picloro	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloro de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxaleno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	2E-5	< 2E-5	0,003

Página 2 de 8 / R.E.: 46639/2013-3

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA APF 11 = Experimento 6

Coletor da Amostra: Interessado

NBR 10004 - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	40	> 60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	9,8	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	< 1	500 (c)
Percentagem de Sólidos	% p/p	0,05	98,9	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	0,5	250 (c)

NBR 10005 - Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Amônio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Ítalo	mg/L	0,01	0,334	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,989	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	6,9	150
Mercurio	mg/L	0,000075	< 0,00007	0,1
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Sódio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	30-5	< 30-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	50-5	< 50-5	0,07
Clordano (admixos)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Clorato de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (admixos)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metocloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Pindrina	mg/L	5	< 5	5,0
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloreto	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Tolueno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	20-5	< 20-5	0,003

Página 2 de 8 / R.E.: 46653/2013-3

solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

Massa Bruta: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Solubilidade: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) Chumbo, Selênio, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.

Lixiviado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

Obs: A Classificação do resíduo foi efetuada baseando-se somente nos parâmetros analisados.

Revisores
Débora Fernandes da Silva
Rogério Calderin
Sérgio Stenico Junior
André Alex Colletti
Guilherme Aguiar
Fábio Luis Silva

Chave de Validação:
e41efb4a8bbde77afcf5453a543b17bc

João Bombasero
Controlador de Qualidade
CRC 04069386 - 4ª Região

Valério D. Góes
Coordenador do Controle de Qualidade
CRC 04056607 - 4ª Região

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA

APF 13 = Experimento 7

Coletor da Amostra: Interessado

NBR 10004 - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	°C	40	> 60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)		0 - 14	10,2	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	< 1	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	78,2	
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	1,3	250 (c)

Parâmetros Complementares - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Amônio	mg/kg	3	< 3	
Cálcio	mg/kg	0,3	< 0,3	
Chumbo	mg/kg	3	529	
Cromo	mg/kg	3	510	
Sódio	mg/kg	3	< 3	

NBR 10005 - Lixiviado

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Amônio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Flúor	mg/L	0,01	0,421	70,0
Cálcio	mg/L	0,001	0,047	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	1,2	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fósforo	mg/L	0,2	12,4	150
Mercúrio	mg/L	0,000075	< 0,00007	0,1
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Sódio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

NBR 10005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,001	< 0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-5	< 3E-5	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	5E-5	< 5E-5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,02
Cloro de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDE (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Dieldrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorociclopentadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexaclorometano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	< 0,002	200
Metocloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200

Página 2 de 8 / R.R.: 46619/2013-3

Técnica:	Itaíro Dois Córregos, Cep. 14420-833, Pindamonhanga/SP, registrada no CRQ 4º Região sob nº 16082-F e responsabilidade técnica do profissional José Carlos Moratti, CRQ nº 04107238, 4ª Região.
Informações Complementares:	<p>Classificação de resíduos sólidos: As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.</p> <p>Um resíduo é classificado como Classe I (Perigoso) quando um ou mais parâmetros do Lixiviado e/ou Massa Bruta estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.</p> <p>Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos Anexos G da NBR 10004.</p> <p>Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da Massa Bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.</p>
Massa Bruta:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.
Solubilizado:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) Arsênio, Chumbo, Índice de Fenóis, Ferro, Selênio, Fluoreto ultrapassam os limites máximos permitidos.
Lixiviado:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) Chumbo ultrapassam os limites máximos permitidos.
	Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe I - Resíduo Perigoso.
	Obs: A Classificação do resíduo foi obtida baseando-se somente nos parâmetros analisados.

Revisores
 Débora Fernandes da Silva
 Rogério Calderin
 Guilherme Aguiar
 André Alex Colletti
 Sérgio Stenico Junior
 Fábio Luis Silva

Chave de Validação:
 850376d3112e35a2111223e16d908656

Juliana Bombassero
 Controle de Qualidade
 CRQ 04459986 - 4ª Região

Valéria D. Gatti
 Coordenadora do Controle de Qualidade
 CRQ 04456607 - 4ª Região

Anexo I – Análise por FRX das misturas da terceira fase

<div> <div> <p>Escola Politécnica da Universidade de São Paulo</p> <p>Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo</p> <p>Laboratório de Caracterização Tecnológica</p> <p>Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br</p> <p>Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br</p> </div> </div>						
Nº LCT	1966/14	1967/14	1968/14	1969/14	1970/14	1971/14
Amostra	Mistura 01 Fase 3 F05C20	Mistura 02 Fase 3 F10C20	Mistura 03 Fase 3 F15C20	Mistura 04 Fase 3 F05C07	Mistura 05 Fase 3 F10C07	Mistura 06 Fase 3 F15C07
F	1,60	2,05	1,58	1,73	2,95	2,41
MgO	1,67	1,64	1,69	1,71	1,75	1,65
Al ₂ O ₃	0,579	0,486	0,438	0,405	0,388	0,376
SiO ₂	4,34	3,88	3,85	3,74	3,53	3,51
P ₂ O ₅	0,315	0,284	0,342	0,323	0,300	0,314
SO ₃	1,06	1,02	1,11	1,09	1,04	1,09
Cl	1,74	1,69	1,91	2,06	2,06	1,96
K ₂ O	1,13	1,07	1,14	1,15	1,18	1,08
CaO	10,3	13,3	10,8	11,6	14,7	12,3
TiO ₂	0,111	0,109	0,112	0,120	0,112	0,090
Cr ₂ O ₃	0,271	0,250	0,281	0,279	0,260	0,299
MnO	2,33	2,04	2,05	2,05	1,91	1,94
Fe ₂ O ₃	34,2	31,7	37,0	36,1	33,7	35,8
NiO	0,025	0,109	0,025	0,018	0,015	0,019
CuO	0,193	0,204	0,204	0,216	0,207	0,183
ZnO	15,6	14,8	17,5	17,2	16,1	17,1
SeO ₂	<0,001	0,002	0,009	<0,001	<0,001	<0,001
Br	0,118	0,111	0,124	0,122	0,118	0,123
SrO	0,032	0,040	0,030	0,040	0,039	0,042
ZrO ₂	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	<0,001
CdO	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,016
SnO ₂	0,093	0,102	0,086	0,081	0,111	0,127
Sb ₂ O ₃	<0,001	<0,001	0,029	<0,001	<0,001	<0,001
PbO	1,47	1,47	1,64	1,62	1,51	1,62
BaO	0,084	<0,001	<0,001	0,053	<0,001	0,059
WO ₃	<0,001	0,075	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PF	22,8	23,6	18,1	18,3	18,0	17,9

Prof. Dr. Henrique Kahn

Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Giuliana Ratti

Pesquisadora do LCT Poli/USP

Química - CRQ 04105009-4ªR

Freud S. Campbell

Pesquisador do LCT Poli/USP

Químico - CRQ 04200380-4ªR

Certificado AQ 298-14

Página 2 de 3

Anexo J – Análise por FRX dos APF's da terceira fase

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
 Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-030 São Paulo - SP - www.lct.poli.usp.br
 Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

Nº LCT	1972/14	1973/14	1974/14	1975/14	1976/14	1977/14
Amostra	APF 01 Fase 3 F05C20	APF 02 Fase 3 F10C20	APF 03 Fase 3 F15C20	APF 04 Fase 3 F05C07	APF 05 Fase 3 F10C07	APF 06 Fase 3 F15C07
F	2,16	2,88	2,10	4,32	4,36	3,04
MgO	2,41	1,99	2,09	2,06	1,94	1,98
Al ₂ O ₃	0,895	0,622	0,475	0,661	0,543	0,478
SiO ₂	12,3	11,6	9,84	10,4	9,61	9,72
P ₂ O ₅	0,609	0,649	0,637	0,601	0,634	0,672
SO ₃	0,749	0,616	0,477	0,710	0,678	0,504
Cl	0,388	0,277	0,236	0,550	0,525	0,440
K ₂ O	0,172	0,058	0,070	0,139	0,140	0,122
CaO	15,7	21,9	15,7	21,6	20,1	17,1
TiO ₂	0,179	0,187	0,163	0,183	0,150	0,157
V ₂ O ₅	0,028	<0,001	0,025	0,018	<0,001	<0,001
Cr ₂ O ₃	0,410	0,352	0,380	0,353	0,347	0,403
MnO	3,81	3,40	2,82	3,07	2,67	2,66
Fe ₂ O ₃	47,0	45,1	46,7	42,5	42,4	45,3
NiO	0,020	0,026	0,024	0,025	0,028	0,037
CuO	0,210	0,242	0,220	0,207	0,210	0,195
ZnO	12,6	9,52	16,5	11,9	14,7	16,0
Br	0,006	<0,001	<0,001	0,007	0,005	0,025
SrO	0,046	0,056	0,043	0,054	0,049	0,046
ZrO ₂	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,011
SnO ₂	0,064	0,092	0,101	0,082	0,096	0,094
Sb ₂ O ₃	<0,001	0,024	0,027	<0,001	<0,001	<0,001
PbO	0,144	0,312	0,335	0,423	0,426	0,348
BaO	0,076	0,079	0,074	0,069	0,092	0,082
WO ₃	<0,001	<0,001	<0,001	0,098	<0,001	<0,001
PF	gf	0,05	0,91	gf	0,29	0,62

gf = ganho ao fogo

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT Poli/USP
Química - CRQ 04105009-4^ªR

Freud S. Campbell
Pesquisador do LCT Poli/USP
Químico - CRQ 04200380-4^ªR

Anexo K – Análise por FRX do concentrado de zinco da terceira fase

<div> <p>Escola Politécnica da Universidade de São Paulo</p> <p>Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo</p> <p>Laboratório de Caracterização Tecnológica</p> <p>Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br</p> <p>Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.poli.usp.br</p> </div>
RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA						
CERTIFICADO: AQ 298-14		REQ: 246-14		DATA: 24/03/14		
CLIENTE: VALDIR SCHALCH						
<p>1. MÉTODO: Os teores apresentados foram determinados por análise sem padrões (<i>standardless</i>) dos elementos químicos detectados, de flúor a urânio, em espectrômetro por fluorescência de raios X Axios Advanced, marca PANalytical. Perda ao fogo (PF) efetuada a 1.050°C por 1h.</p>						
<p>2. RESULTADOS: Valores expressos em % de óxidos, normalizados a 100%.</p>						
Nº LCT	1960/14	1961/14	1962/14	1963/14	1964/14	1965/14
Amostra	Concentrado Zinco 01 Fase 3 F05C20	Concentrado Zinco 02 Fase 3 F10C20	Concentrado Zinco 03 Fase 3 F15C20	Concentrado Zinco 04 Fase 3 F05C07	Concentrado Zinco 05 Fase 3 F10C07	Concentrado Zinco 06 Fase 3 F15C07
F	<0,001	<0,001	0,258	<0,001	<0,001	<0,001
MgO	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Al ₂ O ₃	0,063	0,063	0,053	0,053	0,064	0,077
SiO ₂	0,094	0,085	0,015	0,028	0,022	0,046
P ₂ O ₅	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
SO ₃	0,844	0,903	0,594	0,728	0,691	0,471
Cl	10,9	11,3	10,2	11,2	13,0	9,99
K ₂ O	6,14	6,81	5,50	6,33	7,53	5,12
CaO	0,074	0,122	0,035	0,058	0,078	0,042
Cr ₂ O ₃	0,018	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009
MnO	0,036	0,043	0,020	0,018	0,024	0,014
Fe ₂ O ₃	0,388	0,423	0,205	0,181	0,200	0,111
NiO	0,010	0,012	<0,001	0,007	0,011	0,004
CuO	0,139	0,084	0,153	0,120	0,164	0,137
ZnO	20,6	29,7	8,03	14,9	14,1	6,62
SeO ₂	0,017	0,027	0,019	0,024	0,029	0,017
Br	0,547	0,596	0,506	0,522	0,659	0,429
CdO	0,081	0,105	0,085	0,073	0,094	0,049
SnO ₂	0,116	0,112	0,070	0,072	0,092	0,049
Sb ₂ O ₃	0,020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PbO	7,23	6,49	6,35	6,27	7,83	5,27
PF	52,7	43,2	67,9	59,4	55,4	71,5

<p>Prof. Dr. Henrique Kahn</p> <p>Coordenador do LCT Poli/USP</p>	<p>Dra. Giuliana Ratti</p> <p>Pesquisadora do LCT Poli/USP</p> <p>Química - CRQ 04105009-4ªR</p>	<p>Freud S. Campbell</p> <p>Pesquisador do LCT Poli/USP</p> <p>Químico - CRQ 04200380-4ªR</p>
---	--	---

Certificado AQ 298-14

Página 1 de 3

Anexo L – Análise por FRX da amostra inicial da terceira fase

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-030 - São Paulo - SP - www.lct.pol.usp.br
Tel: 11 3091-5151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.pol.usp.br

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: AQ 538-13 **REQ:** 473-13 **DATA:** 17/05/13

CLIENTE: ARCELORMITTAL BRASIL S/A

1. MÉTODO: Os teores apresentados foram determinados por análise sem padrões (*standardless*) de elementos químicos de flúor a urânio, em espectrômetro por fluorescência de raios X Axios Advanced, marca PANalytical. Perda ao fogo (PF) efetuada a 1.050°C por 1h.

2. RESULTADOS: Valores expressos em % de óxidos, normalizados a 100%.

NºLCT	3315/13	3316/13	3317/13	3318/13
Amostra	APF 01 Exp 01 Fase 03	APF, Fase 3 repetição exp. 1	Mistura 01 Fase 3 Exp. 1	Extrato de Zn, repet. Exp 01
F	3,16	nd	2,15	0,67
Na ₂ O	1,98	1,83	5,94	nd
MgO	2,52	2,35	1,34	0,14
Al ₂ O ₃	1,19	0,88	0,45	0,19
SiO ₂	10,6	7,49	2,90	0,46
P ₂ O ₅	0,81	0,59	0,28	0,03
SO ₃	1,54	0,49	1,31	0,70
Cl	0,27	0,05	3,29	8,24
K ₂ O	0,21	0,10	1,53	5,00
CaO	17,7	8,55	7,91	0,37
TiO ₂	0,23	0,16	0,09	0,02
V ₂ O ₅	0,05	nd	0,02	nd
Cr ₂ O ₃	0,48	0,32	0,19	0,12
MnO	2,58	2,09	1,06	0,17
Fe ₂ O ₃	52,5	68,4	22,9	3,41
NiO	nd	0,04	0,02	0,03
CuO	0,29	0,26	0,16	0,06
ZnO	3,61	6,06	15,8	46,5
Br	0,01	nd	0,15	0,46
SrO	0,05	0,02	0,03	nd
ZrO ₂	0,01	0,01	0,01	0,13
Nb ₂ O ₅	0,01	0,01	nd	nd
MoO ₃	nd	nd	nd	0,02
CdO	nd	nd	0,01	0,03
SnO ₂	nd	nd	0,07	0,13
BaO	0,08	0,09	0,04	nd
PbO	0,18	0,19	1,97	4,77
PF	gf	gf	30,4	28,4

<< = traços (menor que 0,01%), nd = elemento não detectado, gf = ganho ao fogo, mi = massa insuficiente.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT Poli/USP

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT Poli/USP
Química - CRQ 04105009-4^ªR

Freud S. Campbell
Pesquisador do LCT Poli/USP
Químico - CRQ 04200380-4^ªR

Certificado AQ 538-13 Página 1 de 1