



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**RECICLAGEM DE ESCÓRIA DE FORNO PANELA DE ACIARIA ELÉTRICA
EM MATERIAL CERÂMICO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MARÍLIA DUARTE CARDOSO

SÃO LEOPOLDO
2009

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

**RECICLAGEM DE ESCÓRIA DE FORNO PANELA DE ACIARIA ELÉTRICA
EM MATERIAL CERÂMICO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
da UNISINOS, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil.

MARÍLIA DUARTE CARDOSO
Geóloga

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes

SÃO LEOPOLDO
2009

MARÍLIA DUARTE CARDOSO
RECICLAGEM DE ESCÓRIA DE FORNO PANELA DE ACIARIA ELÉTRICA
EM MATERIAL CERÂMICO

Este trabalho foi julgado para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil do programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Unisinos pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Ângela Borges Masuero
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Feliciane Andrade Brehm
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Cláudio de Souza Kazmierczak
Coordenador do PPGEC

C268r

Cardoso, Marília Duarte.

Reciclagem de escória de forno panela de aciaria elétrica em material cerâmico / Marília Duarte Cardoso. – 2009.
166 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2009.

“Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes”.

1. Engenharia civil. 2. Resíduos como material de construção. 3. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 4. Escória (Metalurgia). 5. Material cerâmico.
I. Título.

CDD 669.84
CDU 666.952

Catálogo na publicação: Bibliotecário Flávio Nunes, CRB 10/1298

AGRADECIMENTOS

As minhas colegas de mestrado que estiveram presentes durante essa etapa da minha vida.

Aos laboratoristas Daiana, Angélica, Jefferson, Mauricio, Caroline, Letícia e Rodrigo, que foram essenciais para a execução do programa experimental.

Aos integrantes do Núcleo Caracterização de Materiais - NUCMAT, pelo apoio durante a realização do programa experimental. Especialmente a Clarissa, Luisa, Jonas, Bruna, Marcelo, Daiane e Rosângela.

Agradeço a todos os que me ajudaram de alguma forma para que eu concluísse este trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES.....	XI
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	2
1.2. OBJETIVO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. O CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	3
2.2. SIDERURGIA NO BRASIL	5
2.3. FABRICAÇÃO DE AÇO VIA ACIARIA ELÉTRICA (FEA)	8
2.3.1. Refino Primário	8
2.3.2. Refino Secundário	9
2.3.3. Geração de Escória em Aciaria Elétrica	10
2.3.4. Utilização de Cal em Aciaria Elétrica	11
2.4. RESÍDUOS SÓLIDOS	12
2.4.1. Caracterização	13
2.4.2. Gestão	13
2.4.3. Segregação	14
2.4.4. Reciclagem	14
2.5. RECICLAGEM DA ESCÓRIA	16

2.5.1. Formas de Reciclagem	16
2.5.1.1. Escória de Alto Forno	17
2.5.1.2. Escória de Aciaria	18
2.5.1.3. Escória de Forno Elétrico a Arco – FEA (aciaria elétrica)	19
2.5.1.4. Escória do Forno Panela de Aciaria Elétrica	19
2.5.1.5. Escória de Aciaria LD (Conversor a oxigênio)	20
2.5.1.6. Escória Granulada de Fundição (Forno Cubilô)	20
2.5.2. Limitações da Reciclagem	21
2.6. MATERIAL CERÂMICO	21
2.6.1. Composição	22
2.6.2. Processo de Fabricação	22
2.7. ADIÇÃO DE RESÍDUOS AO MATERIAL CERÂMICO	24
2.7.1. Escória em Material Cerâmico e em Associação de Resíduos	29
2.8. ANÁLISE CRÍTICA DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1. SEGREGAÇÃO E AMOSTRAGEM	33
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE ACIARIA NÃO SEGREGADO	38
3.3. CARACTERIZAÇÃO DA ESCÓRIA DE FORNO PANELA	39
3.3.1. Caracterização Física	39
3.3.1.1. Umidade	40
3.3.1.2. Massa Específica	40
3.3.1.3. Perda ao Fogo	40

3.3.1.4.	Granulometria	40
3.3.1.5.	Separação magnética	41
3.3.2.	Caracterização Química	41
3.3.2.1.	Análise Química	41
3.3.2.2.	Análise Térmica	41
3.3.3.	Caracterização Mineralógica	42
3.3.3.1.	Difração de Raios-X	42
3.3.4.	Caracterização Microestrutural	42
3.3.4.1.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	42
3.3.5.	Caracterização Ambiental	42
3.3.5.1.	Análise Ambiental	42
3.4.	CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA	43
3.4.1.	Análise Química	43
3.4.2.	Massa Específica	43
3.4.3.	Limite de Plasticidade	44
3.4.4.	Análise Térmica	44
3.5.	FORMULAÇÃO DOS TRAÇOS E CONFORMAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	45
3.5.1.	Preparação dos Componentes	45
3.5.1.1.	Argila	45
3.5.1.2.	Escória de Forno Panela	45
3.5.2.	Formulação	46
3.5.3.	Conformação	47
3.5.4.	Secagem	47

3.5.5. Sinterização	48
3.5.6. Ensaios dos Corpos de Prova	48
3.5.6.1. Análise Visual	48
3.5.6.2. Perda ao Fogo	49
3.5.6.3. Absorção de Água e Porosidade Aparente	49
3.5.6.4. Resistência Mecânica à Flexão a 3 Pontos	50
3.5.6.5. Retração Linear	50
3.5.6.6. Perda de Massa	51
3.5.6.7. Análise Térmica	50
3.5.6.8. Análise Microestrutural	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS ESCÓRIAS	54
4.1.1. Química	54
4.1.1.1. Fluorescência de Raios-X	54
4.1.1.2. Análise Térmica	56
4.1.2. Física	57
4.1.2.1. Umidade	58
4.1.2.2. Massa Específica	58
4.1.2.3. Granulometria	59
4.1.2.4. Separação Magnética	60
4.1.2.5. Perda ao Fogo	61
4.1.3. Mineralógica	62
4.1.3.1. Difração de Raios-X	62

4.1.4.	Microestrutural	64
4.1.4.1.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	64
4.1.5.	Ambiental	67
4.1.5.1.	Ensaio de Lixiviação	67
4.1.5.2.	Ensaio de Solubilização	68
4.1.6.	Sobre a Caracterização das Escórias	68
4.2.	ADIÇÃO DE ESCÓRIA NO MATERIAL CERÂMICO	69
4.2.1.	Ensaio Após a Secagem	70
4.2.1.1.	Análise Visual	70
4.2.1.2.	Retração Linear de Secagem	71
4.2.1.3.	Resistência Mecânica à Flexão a 3 Pontos	72
4.2.2.	Ensaio após a Sinterização	73
4.2.2.1.	Análise Visual	74
4.2.2.2.	Perda ao Fogo	78
4.2.2.3.	Retração Linear	78
4.2.2.4.	Resistência Mecânica à Flexão a 3 Pontos	80
4.2.2.5.	Absorção de Água	82
4.2.2.6.	Porosidade Aparente	83
4.2.2.7.	Análise Térmica	85
4.2.2.8.	Lupa	86
4.2.2.9.	MEV	92
4.2.3.	Sobre a Reciclagem da Escória em Material Cerâmico	95

5. CONCLUSÕES	97
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

ANEXOS

ANEXO 1 - Fluorescência de Raios-X	112
ANEXO 2 –Ensaio Ambientais	142
ANEXO 3 – Análises Térmicas (Argila, Escórias D1, D45 e CP)	145
ANEXO 4- Granulometria a Laser (D1 e D45)	164

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

FEA – Forno elétrico a arco

IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia

P - Fósforo

S - Enxofre

C - Carbono

Si - Silício

Mn – Manganês

Fe – Ferro

Al – Alumínio

Zn – Zinco

Kg – Kilo

LD – Linz Donawitz

Al_2O_3 – Óxido de Alumínio

SiO_2 – Óxido de Silício

Cr_2O_3 – Óxido de Cromo

FeO – Óxido de Ferro

MnO – Óxido de Manganês

P_2O_5 – Óxido de Fósforo

Mt – Milhões de toneladas

MgO – Óxido de Magnésio

CaO – Óxido de Cálcio

OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

DFRX – Difração de raios-x

DAM – Drenagem ácida de minas

Na_2CO_3 – carbonato de cálcio

pH – grandeza físico-química

RCD – Resíduo de Construção e Demolição

SSTC – Steel Slag Technical Committee

RSI – Resíduo Sólido Industrial

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

FRX - Fluorescência de raios-x
NUCMAT –Núcleo de Caracterização de Materiais da UNISINOS
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
V – Vanádio
Cr – Cromo
K – Potássio
Na – Sódio
 μm – mesh
As – arsênio
Ba – Bário
Cd –Cádmio
Ag – Prata
Se – Selênio
Pb –Chumbo
Hg - Mercúrio
NBR – Norma Brasileira
TG –Análise Termogravimétrica
ATD - Análise Térmica Diferencial
EFP – Escória do Forno Panela
mm - Milímetros
 \leq - menor ou igual
< - menor
CP – corpo de prova
LMC –Laboratório de materiais de Construção (UNISINOS)
ABIFA – Associação Brasileira de Fundição
g – gramas
SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Au - Ouro
CIENTEC – Fundação e Ciência e Tecnologia
- Abertura da peneira
mg/L – miligrama por litro

RESUMO

A escória é um dos inúmeros resíduos gerados nos processos siderúrgicos de fabricação do aço e tem como composição básica óxidos metálicos e não-metálicos. Dependendo do processo de geração ela pode ser escória de alto-forno (fusão redutora de minérios) ou de aciaria elétrica (produção do aço). A escória do forno panela de aciaria elétrica, utilizada nesta pesquisa, é gerada na etapa do refino secundário no forno panela, sendo este o processo de refino secundário mais utilizado no Brasil. Existem outros resíduos gerados na aciaria como: pó de aciaria, refratários e plásticos, que às vezes por serem em pouca quantidade ou por questões operacionais da empresa não são segregados. A reciclagem de resíduos é uma prática que deve ser incorporada como uma alternativa quando não existe chance de minimização. Nos últimos anos as pesquisas sobre reciclagem externa das escórias voltaram-se principalmente para a incorporação em cimento e concreto (como agregado graúdo ou miúdo-função filler) e mais recentemente no material cerâmico, com poucos estudos ainda com escória do forno panela. Nota-se também que existe uma tendência mundial nas últimas décadas de reciclagem de resíduos em associação (mais de um resíduo na formação de um material) e normalmente isto ocorre em materiais cerâmicos devido a sua alta capacidade de incorporação de outros materiais. Esta pesquisa buscou com diversos métodos de caracterização da escória do forno panela de aciaria elétrica avaliar a viabilidade técnica da reciclagem em material cerâmico. Para as condições desta pesquisa e mediante ensaios (perda ao fogo, análise térmica, retração linear, resistência mecânica na flexão, absorção de água, porosidade aparente, análise visual e em lupa e MEV) com a escória do forno panela de aciaria elétrica, exceto no ensaio de absorção de água (corpos de prova sinterizados a 950°C - D1 com 5% e D45 com 10%), a escória mostrou potencial para ser utilizada como co-produto. Os corpos de prova D45 mostraram uma tendência de maior resistência mecânica que os corpos D1, isto provavelmente está relacionado a menor quantidade de CaO que a escória D45 contém, característica esta ligada ao seu maior tempo de estocagem. Os resultados obtidos permitem incorporar até 15% (teor máximo testado) da escória de forno panela de aciaria elétrica no material cerâmico com função de vedação ou estrutural.

Palavras-chave: escória de forno panela, reciclagem, material cerâmico

ABSTRACT

The slag is one of the many solid wastes generated in the steelmaking processes of steel production, which is constituted by metallic and non-metallic oxides. Depending on the process of slag generation, it can be slag blast furnace (smelting reduction of ores) or electric arc furnace (steel production). The slag ladle furnace from electric steelmaking, used in this study is generated in the stage of secondary refining in ladle furnace, which is the stage of refinement most used in Brazil. There are other solid wastes generated in the steel plant, such as electric arc furnace dust, refractory and plastics, which are sometimes in small quantities, and because of operational issues the company is unable to be segregated. The recycling of solid waste is a practice that should be incorporated as an alternative when there is no chance of minimizing. In recent years research on recycling of slag outside turned mainly to the incorporation in cement and concrete (as aggregate or filler kid-function) and more recently a few studies are related to its addition in the ceramic material. Actually, there is a worldwide trend to recycle solid waste in combination (more than one residue in the formation of a material) and very often this occurs in ceramic materials due to its high capacity to incorporate other materials. This research, with the various methods of characterization of the slag from ladle furnace, were carried out to evaluate the technical feasibility of recycling in ceramic material. Considering the conditions of this study and all tests (loss on ignition, thermal analysis, linear shrinkage, mechanical strength in bending, water absorption, porosity, visual analysis and microscope and SEM) used to study the ladle furnace slag, except the test of water absorption (specimens sintered at 950°C - D1 to D45 and 5% to 10%), the slag has shown a potential to be used as by-product. The samples D45 showed a trend of greater strength than the bodies D1, this is probably related to the least amount of CaO to the slag contain D45, a characteristic linked to its longer storage. The results show the incorporation up to 15% (maximum level tested) of the ladle furnace from electric steelmaking in the ceramic material as bricks or structural blocks.

Key-words: ladle furnace slag, recycling, ceramic material.

1. INTRODUÇÃO

A reciclagem de resíduos, nos últimos anos, transformou-se em um tema importante de pesquisa, abordado por empresas e universidades. Os pré-requisitos para a reciclagem são viabilidade econômica, técnica e ambiental. Para realizar a reciclagem é necessário conhecer em detalhe os tipos e volumes de resíduos gerados, o que implica na sua adequada caracterização. Muitas vezes, por diversos fatores - entre eles o operacional - os resíduos sólidos industriais são misturados já ao serem gerados, o que inviabiliza sua reciclagem.

Nos processos siderúrgicos, um dos resíduos gerados é a escória, tanto na fusão redutora dos minérios para a obtenção do ferro-gusa (escória de alto-forno) como na produção do aço (escória de aciaria elétrica ou oxigênio). No processo de fabricação do aço, além da escória, pó de aciaria e carepa (resíduos segregados); também são gerados resíduos como areia de varrição, refratários, partes metálicas e plásticos, que em função da pequena quantidade ou por limitações operacionais ou de segurança geralmente não são segregados.

Apesar das limitações na reciclagem da escória, atribuída principalmente aos compostos expansivos em sua constituição, ela têm sido reciclada em cimento, concreto, pavimentação e menos expressivamente em materiais cerâmicos. A reciclagem de um maior volume e de mais tipos de resíduos, especialmente como reciclagem externa, além de valorizá-los como co-produtos em outras aplicações, permitiria diminuir o volume dos resíduos dispostos em aterros, minimizado o impacto ambiental e os custos da operação de disposição final. Nas últimas décadas a indústria da construção civil vem se consolidando na reciclagem de resíduos provindos de vários tipos de indústrias, entre elas a indústria siderúrgica.

Esta dissertação de mestrado, voltada à avaliação da viabilidade técnica da reciclagem de escória do forno panela de aciaria elétrica em material cerâmico, que entre os resíduos da indústria siderúrgica, é a que menos estudos tem voltados à sua reciclagem. O desenvolvimento desta pesquisa

teve a colaboração da empresa siderúrgica, mais especificamente com o seu Sistema de Gestão Ambiental, que tem como objetivo prioritário a melhoria contínua das condições ambientais e o atendimento às exigências da legislação ambiental.

1.1. Justificativa

Na empresa siderúrgica, a geração de escória do forno panela no ano de 2008 foi de 7.025 t, o equivalente a 3,11% do aço gerado. Em 2008 a escória de forno panela representou 12,92% do total de resíduos gerados na siderúrgica (Projeto de Pesquisa Inovação em Engenharia, 2009).

A maior parte da escória do forno panela gerada na empresa não é reciclada e normalmente esta vinha sendo disposta em aterro industrial. Entretanto, desde o final de 2008, por necessidade de redução de custos, o envio do resíduo para aterro não está sendo feito. Apenas uma pequena fração, a parte metálica, vem sendo reutilizada pela empresa, gerando acúmulo de material no pátio da empresa. Assim, tornou-se fundamental a realização do presente estudo.

1.2. Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo principal avaliar a viabilidade técnica da reciclagem da escória do forno panela de aciaria elétrica como adição em materiais cerâmicos.

Os objetivos específicos são:

- avaliar a eficácia da segregação de resíduos feita na aciaria e na planta de beneficiamento;
- avaliar a caracterização química, física e estrutural da escória para determinar a presença de contaminantes,
- avaliar a influência do tempo de estocagem do resíduo sob o ponto de vista químico, físico, mineralógico e de propriedades dos corpos de prova cerâmicos contendo escória de forno panela de aciaria elétrica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão tratará de questões referentes ao desenvolvimento sustentável, à Siderurgia no Brasil e fabricação de aço via aciaria elétrica (FEA). Serão mostrados também aspectos da utilização da cal em aciaria e da produção de resíduos pelo setor siderúrgico.

A revisão abordará ainda a classificação, gestão, segregação e reciclagem de resíduos sólidos. Por último, tratar-se-á das formas e limitações da reciclagem da escória, da produção de material cerâmico e da reciclagem da escória e outros resíduos especificamente em material cerâmico.

2.1. O conceito de Desenvolvimento Sustentável

Foi apenas a partir da década de 1960 que a questão ambiental começou a ganhar destaque mundial. Até aquela época, não era cogitado incluir programas de conservação ambiental nos planos nacionais de desenvolvimento, pois se acreditava que a poluição e a deterioração ambiental eram conseqüências inevitáveis do desenvolvimento industrial.

Um impulso para a conscientização sobre a necessidade da preservação ambiental ocorreu com a viagem da Apollo 8, que no final de 1968 circundou a Lua. Na época, causou forte impacto na mídia as fotos feitas à cerca de 300.000 km de distância da Terra, que mostravam o planeta isolado na escuridão do espaço. Após seu regresso, tocados pelo que viram, os participantes do vôo passaram a difundir o conceito de *espaçonave Terra* (Marvin, 2002). Em 30 de dezembro de 1968, dois dias após o regresso da nave à Terra, pela primeira vez um jornal – o New York Times – trouxe um editorial clamando pelo fim da destruição do meio ambiente.

Em 1969, o então secretário geral da Organização das Nações Unidas, U-Thant, estimava em cerca de 10 anos o tempo disponível para prevenir danos irreversíveis ao meio ambiente do planeta. Desde então, a ONU vem promovendo ações relativas ao tema. Em 1972, na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo, foi analisada a relação entre

conservação ambiental e desenvolvimento industrial e surgiu o conceito de *ecodesenvolvimento* (Marvin, 2002).

Na década de 1980 foi criada pela ONU uma Comissão para estudar os problemas globais do ambiente e do desenvolvimento. Em 1987, essa comissão, tendo como presidente Gro Harlem Brundtland, Primeira-Ministra da Finlândia, apresentou o relatório *Nosso Futuro em Comum*, com a finalidade de criar alianças com vistas à viabilização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992 (Brundtland, 1987). É neste relatório, que passou a ser conhecido como *Relatório Brundtland*, que o termo *desenvolvimento sustentável* aparece pela primeira vez. Em sua origem, ele é caracterizado como *conceito político e conceito amplo para o progresso econômico e social*.

A Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, no Rio de Janeiro em 1992, resultou na elaboração da Agenda 21 - compromisso político das nações para agirem em cooperação e harmonia na busca do desenvolvimento sustentável, considerando como problemas internacionais o crescimento demográfico e a pobreza (Calmon, 2000).

Em 2002, a Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento Sustentável, em Johannesburgo, definiu prazos e metas para implementação da Agenda 21, visando colocar o planeta no rumo do desenvolvimento sustentável (Calmon, 2000).

A partir de então, foram introduzidos termos como construção sustentável, produção sustentável, sustentabilidade ambiental, agricultura sustentável, turismo sustentável, manejo sustentável, arquitetura sustentável, sociedade sustentável e crescimento sustentável. Deve-se lembrar, entretanto, que para muitos autores a junção do adjetivo sustentável ao conceito desenvolvimento cria apenas um oxímoro que confunde, pois o desenvolvimento, por definição, não pode ser sustentável nem durável (Latouche, 2006).

Atualmente, é considerado sustentável um projeto ambientalmente correto, economicamente viável e socialmente responsável.

Na visão dos economistas, o conceito *desenvolvimento sustentável* diz respeito ao gerenciamento racional dos recursos produtivos finitos, em uma sociedade marcada pela infinitude das necessidades humanas. Ou seja, diz respeito à administração mais ou menos eficiente de uma dimensão específica da escassez. O conceito não tem e nunca terá uma noção de natureza precisa, discreta, analítica ou aritmética, e por isso não pode ser entendido como um conceito científico (Veiga, 2005).

O conceito subsidiário de *sustentabilidade ambiental*, segundo Veiga (2005), resulta da preocupação com a instabilidade do mercado dos recursos naturais. Ele permite a criação de novos mercados para os bens ambientais pela adoção de técnicas de valoração, onde são estipulados valores econômicos para bens que não adquirem valor de troca, ou seja, não têm preço. Por isso, práticas de desenvolvimento sustentável passaram a ser adotadas por vários tipos de organizações, que vêm elaborando vários tipos de índices de sustentabilidade, que permitem mensurar se as práticas adotadas são capazes de garantir o resultado esperado. Um levantamento sobre práticas ligadas ao desenvolvimento sustentável em empresas brasileiras realizado em 2005 mostra que o ramo de atividade em que elas estão mais difundidas é o da siderurgia, seguindo-se o setor químico, o setor financeiro, e empresas do ramo de energia e petróleo (Colombo, 2006).

2.2. Siderurgia no Brasil

O Brasil possui uma das maiores reservas de minério de ferro do planeta, atualmente estimada em 20 bilhões de toneladas. As principais regiões produtoras são o Quadrilátero Ferrífero (MG) e a Serra dos Carajás (PA) (IBS, 2008). Em decorrência dessa situação privilegiada, a utilização do ferro no Brasil foi iniciada logo após a chegada dos portugueses. O primeiro relato sobre o assunto é de 1554, feito pelo Padre Anchieta (Araújo, 1967).

Até o século XVII, dois pequenos fornos construídos em São Paulo em 1589 consumiam o produto da exploração em pequena escala em SP e MG. No Rio Grande do Sul, entre 1700 e 1756, funcionou uma *Forja Catalã* na

Redução Jesuítica São João Batista (atual cidade de Santo Ângelo), onde eram fabricados ferraduras, cravos e utensílios (Araújo, 1967).

A industrialização mais efetiva teve início no período entre 1917 e 1930, quando foi criada a Companhia Siderúrgica Brasileira, em Sabará (MG) (Araújo, 1967).

Hoje, o parque siderúrgico brasileiro é composto por 26 usinas, administradas por oito grupos empresariais (IBS, 2008).

A capacidade atual de produção da siderurgia brasileira é 80% superior à demanda do mercado interno. O setor exporta atualmente mais de 40% da sua produção. A produção de aço bruto em 2007 no Brasil foi estimada em 34 milhões de toneladas, mantendo-o como o maior produtor da América Latina.

Entre janeiro e junho de 2009, a produção de diversos tipos de produtos no país ficou abaixo da produção em igual período de 2008 (IBS, 2009). A Fig. 2.1 apresenta um histórico da evolução da produção de aço no Brasil.

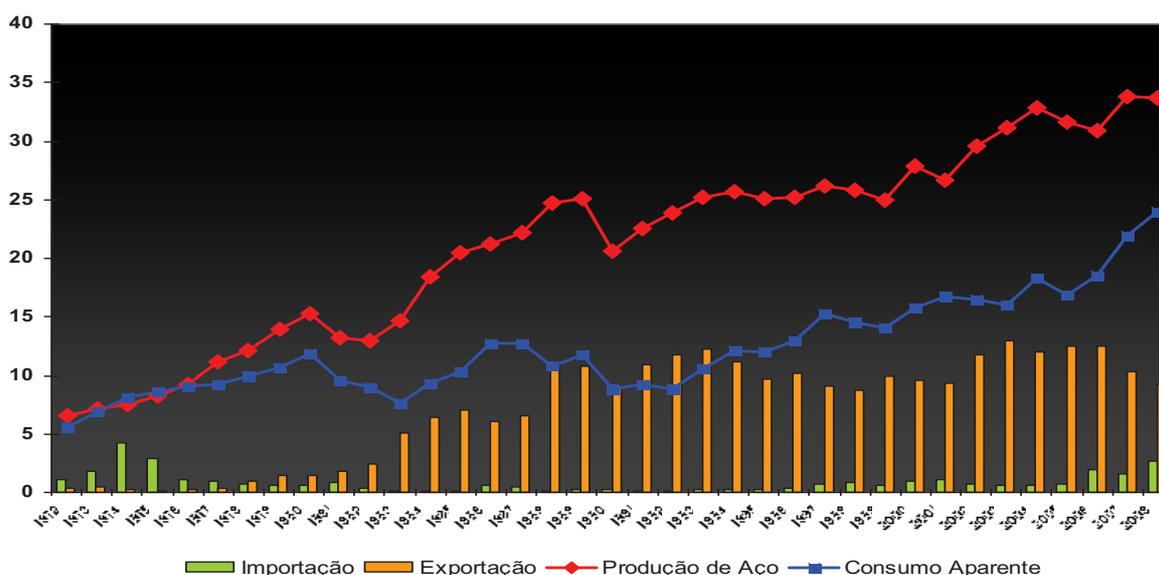


Figura 2.1 – Evolução do mercado do aço no Brasil (segundo Bühler, 2009).

Em termos mundiais, a produção de aço bruto em 2008 foi de 1.326 milhões toneladas, das quais, aproximadamente 1/3 produzidas pela China. Apesar de expressivo, este número marca uma queda na produção mundial de aço depois de 8 anos de crescimento (Fig. 2.2).

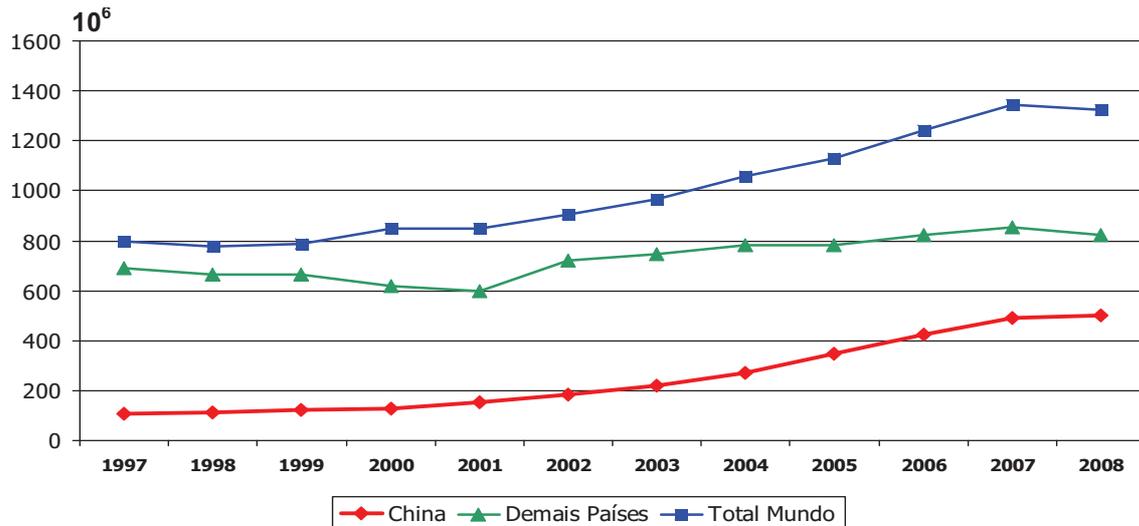


Figura 2.2 – Evolução da produção mundial de aço bruto (segundo Bühler, 2009).

Em 2008 o Brasil se posicionou em nono lugar entre os maiores produtores de aço bruto, com 33,7 milhões de toneladas produzidas (Fig. 2.3).

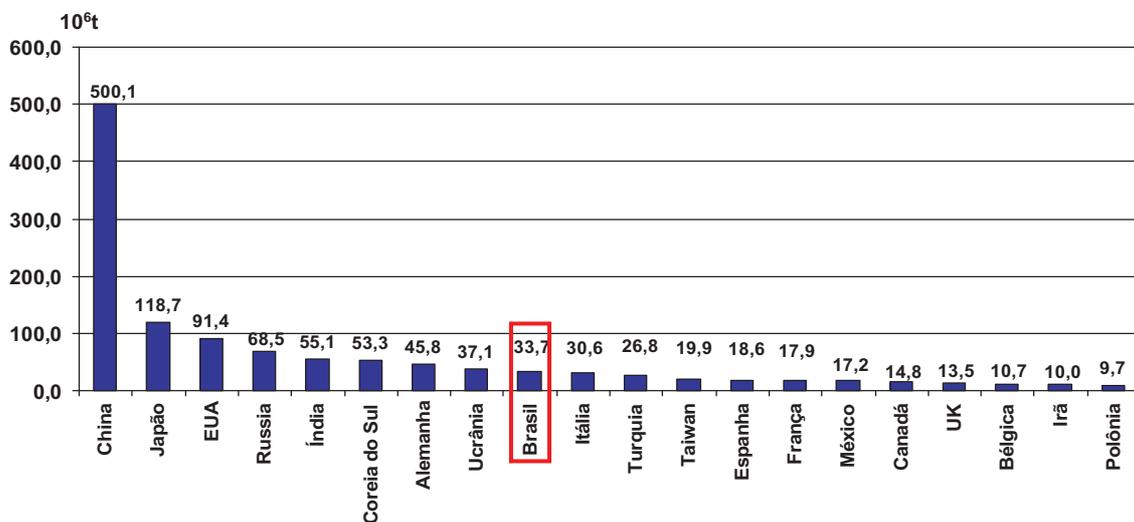


Figura 2.3 – Produção de aço bruto total em 2008 dos vinte principais produtores mundiais (segundo Bühler, 2009).

A região sul do Brasil é responsável por 3,4 % da produção brasileira de aço e o Rio Grande do Sul por 2,3% (IBS, 2003).

O aço é utilizado em diversos setores e é distribuído nos diversos setores, predominando nos setores da construção civil e automotivo (Fig. 2.4) (IBS, 2009).



Figura 2.4 – Distribuição do aço no país (IBS, 2009).

2.3. Fabricação de Aço via Aciaria Elétrica (FEA)

O uso em maior escala de aciaria elétrica para produção de aço teve início nos anos 40 do século passado. Antes, o forno elétrico era utilizado para a produção de aços longos. Na década de 70, os fornos elétricos respondiam por cerca de 19% da produção mundial. Nos anos 2000 foram responsáveis por 39% da produção mundial (Rizzo, 2006).

Os fornos elétricos podem ser a arco direto, a arco indireto, de arco-resistência, de indução e de resistência elétrica (Rizzo, 2006).

A empresa siderúrgica fornecedora dos resíduos para essa pesquisa, possui em sua aciaria um forno elétrico a arco, forno-painel, sistema de desgaseificação do tipo tanque VD (VD - desgaseificação a vácuo), lingotamento contínuo de três veios de tarugos de seção quadrada e lingotamento convencional (lingoteiras de dimensões especiais). A aciaria tem capacidade de produção ao redor de 500.000 t/ano (Bielefeldt *et al.*, 2006).

2.3.1. Refino Primário

Na etapa de refino ocorrem as operações para redução dos teores de P, S, C, Si e Mn do aço, em que estes elementos a exceção do C são absorvidos pela escória representando uma de suas funções na fabricação de aço. A

remoção parcial da escória também pode ocorrer, principalmente para evitar a refosforação do aço, aumentar o rendimento dos elementos de liga e reduzir a passagem de escória para as panelas de aço (Rizzo, 2006).

2.3.2. Refino Secundário

Após a elaboração do aço no forno primário de fusão ocorre o refino ou metalurgia secundária. O refino secundário é uma continuação do processo de obtenção do aço, onde a composição química, temperatura e limpidez são ajustadas (Rizzo, 2006).

Nas usinas siderúrgicas brasileiras, o processo mais utilizado para o refino secundário do aço é o forno panela (Fig. 2.5), que usa como fonte de energia a eletricidade. Apesar deste processo ser mais caro que o processo de aquecimento químico, atualmente existem 19 aciarias brasileiras equipadas com estações de refino secundário deste tipo (Rizzo, 2006).

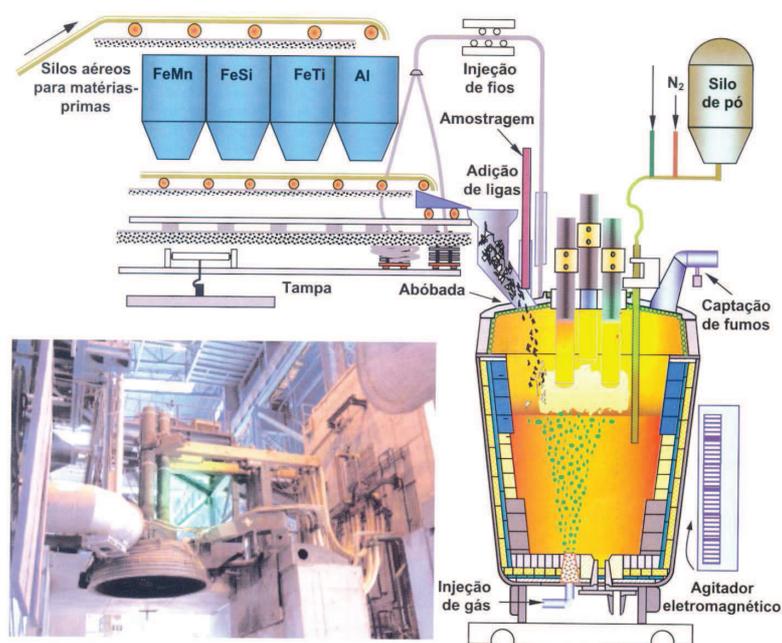


Figura 2.5 – Etapas do refino secundário forno-panela nas usinas siderúrgicas no Brasil (segundo Rizzo, 2006).

2.3.3. Geração de Escória em Aciaria Elétrica

Nos processos siderúrgicos, um dos resíduos inevitáveis é a escória cuja geração e descarte em cada etapa de processo é mostrada na figura 2.6. A escória pode ser de dois tipos alto-forno e aciaria (LD e elétrica), em função de seu processo de produção. Quando gerada em alto-forno, é chamada de escória de alto-forno. Quando gerada em forno elétrico a arco ou conversor a oxigênio, é denominada escória de FEA ou LD, e comumente chamada somente de escória de aciaria em muitos trabalhos científicos e tecnológicos. Esta generalização dificulta, muitas vezes, a definição da origem da escória estudada.

A escória é composta de óxidos metálicos e não-metálicos, gerados tanto na fusão redutora dos minérios para a obtenção do ferro-gusa (escória de alto-forno) como na produção do aço (escória de aciaria). Os principais óxidos presentes são Al_2O_3 , SiO_2 , Cr_2O_3 , FeO , MnO e P_2O_5 (Vilela & Moraes, 1998). A escória do forno panela geralmente é básica (1,8 e 3,0% de CaO e SiO_2) e redutora. Esse processo é influenciado pela temperatura (Vilela & Moraes, 1998). A escória do forno panela é conhecida pela característica de “esfarelar” (virar pó) quando resfria (SSTC, 1996).

A geração de escória de aciaria FEA pode variar entre 70 e 170 kg por tonelada de aço líquido. Se considerada uma média de 120 kg de escória por tonelada de aço líquido e uma produção anual de 700 Mt de aço, a geração anual de escória de aciaria a nível mundial seria de 85 Mt (Rosa, 2001).

As siderúrgicas situadas no RS são semi-integradas (refino e conformação mecânica) e operam com aciarias elétricas. Considerando uma média de 130 kg de escória por tonelada de aço, tem-se, no estado, uma geração anual de escória de aciaria elétrica de aproximadamente 87.100 toneladas (Masuero *et al.*, 2004).

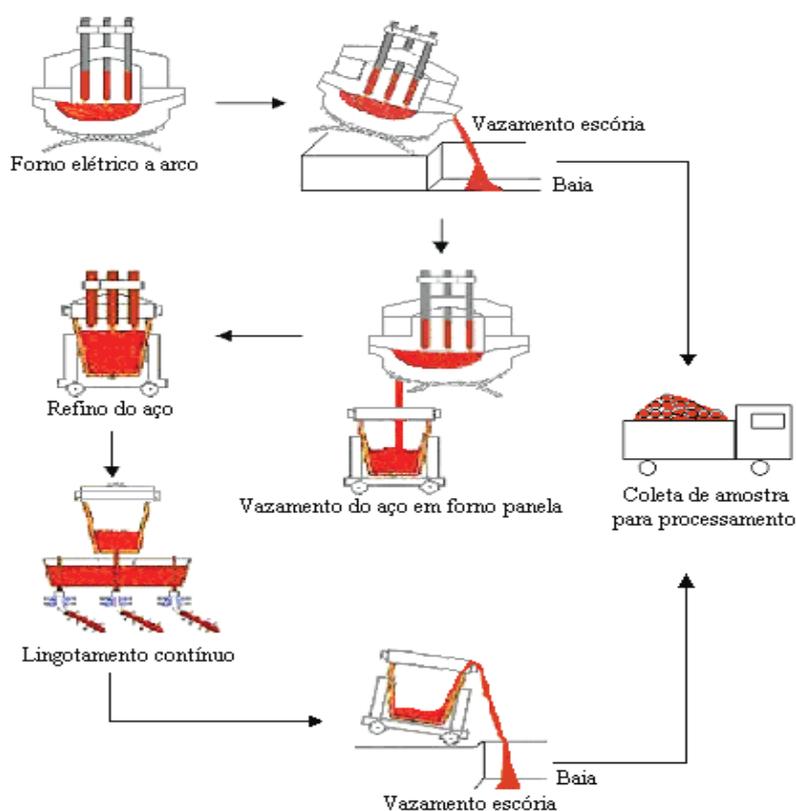


Figura 2.6 - Esquema do processo de formação e descarte da escória de aciaria elétrica na fabricação do aço (segundo Graffitti, 2002).

2.3.4. Utilização de cal em aciaria elétrica

Um dos constituintes da escória de aciaria é a cal, que entra no processo de geração com função de aumentar a basicidade e estabilizar o fósforo na escória durante o refino primário no forno elétrico a arco. A cal dolomítica, com altos teores de MgO (15 a 30%) tem como função proteger o refratário da linha de escória e diminuir o consumo de fluidizante, tanto no forno elétrico como no forno panela durante o refino secundário (Vilela & Moraes, 1998). A cal tem também as funções de escorificar as impurezas e diminuir a temperatura de fusão da carga (Moraes *et al.*, 2009).

Na siderurgia a cal (>49% de CaO) é utilizada como fundente e fluxante. Na produção de aços comuns, a quantidade de cal consumida no FEA é de 25 kg a 30 kg de cal calcítica e 7 kg a 12 kg de cal dolomítica por tonelada de aço

líquido. Na produção de aços especiais o consumo é maior (Moraes *et al.*, 2009).

2.4. Resíduos Sólidos

Escórias ferrosas, escórias de ligas não-ferrosas, escórias de níquel, escórias de zinco/chumbo e areia de fundição são os principais resíduos sólidos metalúrgicos (Calmon, 2007). Os resíduos sólidos metalúrgicos são uma das cinco classes de resíduos consideradas na classificação internacional para resíduos, proposta pela OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico). As outras classes são compostas por resíduos e subprodutos de mineração, resíduos e subprodutos metalúrgicos, resíduos e subprodutos industriais, e por resíduos municipais e resíduos e subprodutos agrícolas e florestais.

Segundo a norma Brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são classificados em relação ao risco à saúde pública e ao meio ambiente como: Resíduos Classe I – Perigosos e Resíduos Classe II – Não Perigosos, subdivididos em Classe II A – Não Inertes e Classe II B – Inertes. Para ser classificado como Classe I (Perigosos), o resíduo deve apresentar periculosidade em pelo menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade toxicidade e patogenicidade.

O processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator, é denominado lixiviação - NBR 10005 (ABNT, 2004).

Os resíduos da Classe II A (Não perigosos e Não inertes) são os que têm pelo menos uma das seguintes características: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Os resíduos da Classe II B (Não perigosos e Inertes) são os que não tiveram nenhum dos seus constituintes solubilizados a padrões de concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água quando amostrados corretamente - NBR 10007 (ABNT, 2004) e submetidos a ensaios segundo a NBR 10006 (ABNT, 2004).

2.4.1. Caracterização

Os resíduos normalmente passam pela caracterização para serem utilizados como matéria-prima na confecção de um material composto. As etapas de caracterização de um resíduo têm como objetivo principal a determinação das suas características físico-químicas e a avaliação da sua periculosidade. As caracterizações química, física e de fases de um resíduo sólido mais completas possível são etapas fundamentais para avaliar a viabilidade de reciclagem (Moraes *et al.*, 2008). Na caracterização de escórias são utilizados métodos como microscopia ótica e eletrônica de varredura, análises químicas e difração de raios-X.

Por exemplo, já foram feitas caracterizações de escória de aço inoxidável para sua incorporação em materiais cerâmicos (Rosa, 2001) e para o reaproveitamento no próprio processo de geração do aço (Zettermann, 2001). A escória de aciaria elétrica foi caracterizada para avaliação do teor de cal livre (Graffitti, 2002), um dos responsáveis pela expansibilidade das escórias de aciaria.

Amaral *et al.* (2008) caracterizaram a escória de forno panela para uso em tratamento de drenagem ácida de minas (DAM) em reator de leito empacotado. A escória foi analisada antes e após o tratamento, segundo seu potencial de neutralização, periculosidade (NBR 10.004) e expansibilidade por hidratação de acordo com a norma ASTM C1260. A escória mostrou-se eficiente na remoção de metais (Fe, Al, Zn e Mn) e na diminuição na alcalinidade e expansibilidade.

2.4.2. Gestão

Hoje, o aproveitamento total dos resíduos sólidos gerados numa indústria é uma necessidade, devido à escassez dos recursos naturais não renováveis e à busca pela minimização de resíduos e uso de tecnologias mais limpas.

A gestão de resíduo compreende três princípios: a prevenção, a reciclagem e reuso, e a disposição adequada (Calmon, 2007). A prevenção de resíduos é a primeira iniciativa a tomar, para se tentar gerar a menor

quantidade de resíduos possível e também diminuir o risco de substâncias tóxicas. O segundo princípio é a reciclagem e reuso, que visa aproveitar ao máximo os materiais. Quando o resíduo não pode ser reciclado ou reusado, a alternativa é a disposição adequada em aterros específicos (Calmon, 2007).

2.4.3. Segregação

Idealmente, a segregação deve ser uma etapa incorporada ao processo produtivo, onde ao final os diferentes resíduos gerados são simplesmente separados em baias específicas, não gerando contaminação, que poderia levar a inviabilização da reciclagem ou classificação como resíduo não-perigoso.

A etapa de segregação no gerenciamento ambiental de resíduos sólidos consiste na separação granulométrica, por densidade e eventualmente magnética, dependendo dos diferentes tipos de resíduos gerados no processo produtivo que não podem ser separados na fonte. Em muitas empresas, como na Multiserv (Multiserv, 2009), esta etapa representa o processo de beneficiamento de resíduos para a reciclagem.

Resíduo segregado pode ser total ou parcialmente reciclado internamente pela empresa que os gerou ou externamente. Uma análise crítica mostra que a segregação e caracterização de resíduos sólidos industriais trazem ganhos econômicos e ambientais no gerenciamento destes resíduos (Moraes *et al.*, 2008; Kieling *et al.*, 2008).

Um exemplo de aplicação da segregação é o que viabilizou o uso da cinza de casca de arroz (Kieling, 2009). A segregação também influenciou na etapa de caracterização do resíduo e na remoção de cromo hexavalente da cinza, quando utilizada como adsorvente deste metal pesado.

2.4.4. Reciclagem

A reciclagem apresenta vantagens para a preservação ambiental, como a redução da poluição, do consumo de recursos naturais e de energia e também do volume dos aterros sanitários ou industriais.

A reciclagem de resíduos sólidos é uma alternativa ambiental fundamental à disposição em aterros, quando não há mais possibilidades de

minimizar sua geração e quando possuem potencial de agregar valor. Resíduos industriais geralmente contêm quantidades consideráveis de metais preciosos e materiais que têm possibilidades de recuperação de algumas características físicas ou químicas por técnicas de processamento (Das *et al.*, 2006).

A opção pela reciclagem de um resíduo e pelo processo de reciclagem deve ser criteriosa. Devem-se ponderar todas as alternativas possíveis com relação ao consumo de energia e matéria-prima escolhida (Ângulo *et al.*, 2001).

A estimativa da quantidade de resíduo gerado durante um determinado período de tempo e de eventuais mudanças sazonais é importante para determinar a estrutura necessária para gerir o processo e realizar a reciclagem. Também é preciso indicar a escala de produção de reciclagem necessária, o que freqüentemente limita as tecnologias, e indicar tendências de geração do resíduo, já que o processo de reciclagem deve ser pensado a longo prazo (John & Ângulo, 2003).

No Brasil, a indústria siderúrgica foi pioneira na reciclagem; exemplo disso é o uso da sucata. Estudos para utilização de resíduos se intensificaram a partir da década de 1990, com o envolvimento de universidades e centros de pesquisas junto às empresas.

Na reciclagem, o resíduo pode ser utilizado como co-produto para formar um material composto, chamado de compósito ou conjugado. A união de dois ou mais materiais visa à obtenção de propriedades especiais, não apresentadas isoladamente pelos componentes, através de métodos convencionais (Isaia, 2007).

O reaproveitamento e a reciclagem de resíduos na construção civil é uma alternativa de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos em diferentes atividades industriais, e na obtenção de materiais a um baixo custo (Pereira, 2002). Na construção civil foram desenvolvidos tipos de utilização de materiais como pó de vidro, couro, resíduos de caulim, fibras vegetais, escória de Fe-Cr, cinza da castanha-do-pará, tinta poliuretana e outros resíduos (Calmon, 2007).

2.5 Reciclagem da Escória

A reciclagem da maioria das escórias pode ser interna ou externa. Na reciclagem interna, a escória de aciaria, por exemplo, é aproveitada no próprio processo a fim de recuperar metais, obter maior eficiência em algumas etapas do processo de fabricação do aço, do consumo de energia, e na formação de nova escória (Moraes *et al.*, 2002), enquanto que na reciclagem externa ela é usada como co-produto.

As pesquisas relacionadas à reciclagem interna das escórias têm como líderes a Suécia e o Japão, que trabalham buscando a recuperação de metais pela reciclagem a quente da escória de redução e tratamento metalúrgico da escória de aço. Os metais existentes nas escórias podem ser reutilizados, tendo em vista a preservação de suas propriedades físicas (César, 2008) e sua influência na disposição final da escória (Silva, 2008). A recuperação do ferro metálico, por exemplo, pode também ser realizada por separação magnética (Alanyali *et al.*, 2006).

Em relação à reciclagem externa, vários países, entre eles o Brasil, têm pesquisado formas de utilizar a escória como matéria-prima na construção civil, na pavimentação de estradas, como lastro ferroviário, agricultura (Calmon, 2007; Geiseler, 1996; Manso *et al.*, 2005) construção de gabiões, produção de artefatos de concreto e misturas asfálticas e material de retorno na aciaria (Gerdau, 2009).

Estudos bastante elaborados para utilizações específicas de resíduos de aciaria também têm sido feitos. Por exemplo, no processo de recuperação metálica de escórias de aços inoxidáveis de aciaria é gerada uma massa de óxidos. Essa massa se mostrou viável como fonte precursora na síntese de pigmentos cerâmicos a base de cromo verde vitória ($\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) mediante o ajuste da composição química através da adição de óxidos puros (Della *et al.*, 2005).

2.5.1. Formas de Reciclagem

Na indústria da construção civil as escórias entram na composição de materiais como adição ou em substituição parcial de algum componente.

Vale ressaltar que alguns trabalhos vêm mostrando que a escória pode ser reciclada também em associação com outros resíduos. Como por exemplo, no estudo de produção de lã mineral a partir de escória de aciaria e resíduo de corte de granito.

As formas mais difundidas de reciclagem de escória na construção civil ainda são como base e sub-base de rodovias, lastro ferroviário, substituição ou adição no cimento e concreto. Como usos menos freqüentes tem-se reciclado escória como fertilizante na agricultura e na mineração.

2.5.1.1. Escória de Alto Forno

Algumas das referências relacionadas neste item, sobre escória de alto forno não detalham o processo exato se são granuladas ou não.

A principal aplicação da escória de alto forno no Brasil é em cimento, aproximadamente 93%. Um cimento modificado contendo volumes elevados de escória de alto forno granulada, mostrou ser 62% mais resistente que o valor de referência (Sobolev, 2005).

Na agricultura, as escórias de alto forno podem ser utilizadas como fertilizante (Souza *et al.*, 2003)

A partir de um estudo de impacto ambiental sobre o uso de escória de alto forno para pavimentação, com análises de solo e água subterrânea, verificou-se que não houve uma contaminação significativa do solo e água (Lind *et al.*, 2001).

A escória de alto forno granulada possui como ativadores mais relevantes do ponto de vista mecânico, o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e o gesso (Murgier *et al.*, 2004), assim como o silicato de cálcio (John, 1995).

A ativação química da escória de alto forno foi testada com três ativadores: cal hidratada, a gipsita e o silicato de sódio, para a finalidade de produção de blocos de concreto (tipo quebra-mar) como substituição ao cimento, escória granulada de alto-forno como agregado miúdo e escória bruta de alto-forno, como agregado graúdo. Os resultados obtidos por esta pesquisa são que os blocos produzidos com escória são melhores ou equivalentes aos produzidos com concreto referência (Coelho *et al.*, 2009).

Liduário *et al.* (2005) estudaram as propriedades da escória de alto forno moída no concreto convencional. Foram analisadas: resistência à compressão, permeabilidade, reatividade potencial e elevação adiabática da temperatura do concreto e concluiu-se que para todas as propriedades o concreto produzido com escória melhorou o desempenho em relação ao concreto referência. Esse resultado benéfico da escória no concreto foi atribuído à atividade pozolânica e efeito filler da escória.

Em estudo com três resíduos (escória de alto forno, cinza volante e RCD- resíduo de construção e demolição) adicionados na forma de agregado ao concreto, o melhor desempenho foi obtido com 50% de escória (Berndt, 2009).

2.5.1.2. Escória de Aciaria

Os trabalhos relacionados neste item não informam a exata origem das escórias estudadas. Assim, estão sendo agrupadas de uma maneira geral como escória siderúrgica.

A escória de aciaria pode ser usada para corrigir a acidez do solo com uma granulometria indicada de < 1mm, de acordo com Corrêa *et al.* (2003). Quando não possuem a quantidade adequada de fósforo, a elas são adicionados outros compostos que permitem seu uso como corretivo de solo. De acordo com o tipo de solo e o cultivo, escórias também podem ser usadas entre 1,5 e 5 t/ha para aumentar o pH do solo (Das *et al.*, 2006).

Já foi verificado que a utilização de escória como matéria-prima na produção de clínquer de cimento Portland não afeta a qualidade do cimento (Tsakiridis *et al.*, 2008).

Cimentos de escória australiana, de acordo com ensaios de trabalhabilidade e resistência à compressão, têm sido indicados para a produção de concreto (Bakharev *et al.*, 1999).

Na pavimentação a escória de aciaria elétrica também pode ser utilizada (Rodhe, 2002).

2.5.1.3. Escória de Forno Elétrico a Arco – FEA (aciaria elétrica)

Alves (2008) verificou o processo de reciclagem de escória de FEA e resíduo de corte de granito, em separado e junto. A finalidade foi à fabricação de lã mineral (isolante térmico, acústico e antifogo). A associação dos dois resíduos para a fabricação de lã de vidro e de rocha mostrou-se viável.

A escória de FEA a arco possui potencial para ser utilizada como agregado de concreto de cimento Portland, em substituição total dos agregados convencionais, em obras que não sejam em concretos estruturais. Entretanto, o autor lembra que se deve levar em consideração a necessidade de mais estudos em relação à expansão, reações álcali-agregado, fluência, durabilidade, avaliação da microestrutura do concreto à base de escória e ensaios ambientais (lixiviação e solubilização) (Nascimento, 2007).

Masuero (2001) estudou a estabilização da escória de aciaria elétrica através de resfriamento brusco, visando sua utilização como substituição ao cimento e verificou que para resistência a compressão o desempenho foi igual ao sem escória. Em relação aos ensaios de durabilidade os teores de escória testados ficaram com desempenho igual ou superior que a argamassa sem escória, com exceção do ensaio de carbonatação.

2.5.1.4. Escória do Forno Panela de Aciaria Elétrica

A composição mineralógica singular da escória do forno panela favorece o desenvolvimento de propriedades cimentícias e hidráulicas muito apreciadas na construção civil (Setién *et al.*, 2009).

As propriedades cimentícias da escória do forno panela de aciaria elétrica, aumentam na presença de um ativador alcalino em temperatura ambiente (Shi, 2001).

A escória do forno panela de aciaria elétrica, como adição em concreto, mostrou-se estabilizada e viável em adições de até 35%. Com até 5% de adição a resistência do concreto melhorou. Quanto à expansibilidade, para uma adição de 10% de escória não ocorreu nenhum prejuízo à qualidade final do concreto, mesmo com uma escória sem nenhum tempo de estocagem (Geyer, 2000).

Na mineração, as escórias do forno panela de aciaria elétrica, por apresentarem alta basicidade, podem ser utilizadas como agentes neutralizantes da drenagem ácida de minas, melhorando a qualidade da água em depósitos de rejeitos de carvão (Bienert *et al.*, 2008). Após o uso na mineração, estas escórias perdem a expansibilidade, podendo talvez, serem utilizadas na construção civil, como agregados (Amaral *et al.*, 2008).

2.5.1.5. Escória de Aciaria LD (Conversor a oxigênio)

Na pavimentação de estradas, agregados de escória de aciaria LD têm sido usados desde a década de 1970, para a mistura de asfalto a quente, exigindo apenas que o fenômeno de expansibilidade seja controlado (SSTC,1996; Raposo, 2005).

A ACERITA é um produto para emprego em pavimentação elaborado a partir da escória de aciaria LD. Foi desenvolvido em parceria por uma siderúrgica e uma empresa de consultoria viária (Silveira *et al.*, 2004).

O emprego da escória da aciaria LD como adição em cimentos também é uma alternativa de reciclagem viável (Gumieri, 2002; Alanyali *et al.*, 2006; Kumar *et al.*, 2006).

2.5.1.6. Escória Granulada de Fundição (Forno Cubilô)

A escória granulada de fundição foi estudada para fins agrícolas e foi verificado que possui potencial como corretivo de acidez dos solos (Montanari *et al.* 2008).

Reschke (2003), em avaliação de propriedades relacionadas com a durabilidade, em escórias granuladas de fundição como substituição ao cimento, verificou que a utilização dessas escórias em teores elevados em substituição ao cimento ao longo do tempo não acarreta perdas consideráveis na durabilidade. Assim como na pesquisa de Ceccatto (2003), que ao utilizar a escória granulada de fundição também como substituição a parte do cimento, concluiu que o teor de 10% de substituição de cimento por escória melhorou a resistência à compressão uniaxial, ficando equivalente aos resultados do concreto referência.

2.5.2. Limitações da Reciclagem

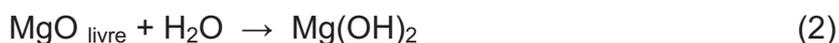
Uma das limitações da reciclagem da escória está na sua alta densidade, quando comparada aos agregados naturais, e na necessidade de controle da fonte geradora (SSTC, 1996). Entretanto, os problemas mais sérios relacionados às escórias estão ligados diretamente à sua característica expansiva, em especial as escórias de aciaria (FEA, Forno Panela e LD) causada pela presença de compostos que sofrem reações expansivas quando expostos ao ambiente (óxidos de cálcio e de magnésio livres, óxidos de ferro e silicatos de cálcio). As reações ocorridas com as escórias quando em contato com o ambiente são: hidratação, decomposição, oxidação e transformação estrutural (Graffitti, 2002). Por isso, as conseqüências da utilização de escória em materiais com altos teores desses elementos são a ruptura e desintegração dos materiais (SSTC, 1996; Graffitti, *et al.*, 2005).

As principais reações de elementos causadores de expansão são as seguintes (Pagnussat *et al.*, 2008):

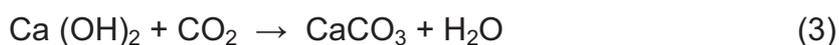
- Hidratação do CaO livre e formação de hidróxido de cálcio



- Hidratação do MgO livre e formação de hidróxido de magnésio



- Carbonatação do Ca (OH)₂ e formação de carbonato de cálcio



- Desintegração devido à transformação de fase do silicato dicálcico



- oxidação ou corrosão do ferro metálico



Ainda não há consenso no meio científico a respeito da generalização dos tempos mínimos para estabilização volumétrica de qualquer tipo de escória de aciaria (Pagnussat *et al.*, 2008). Entretanto, já vêm sendo adotados industrialmente três tipos de tratamentos para a estabilização da escória: exposição prolongada ao tempo, exposição prolongada ao tempo com molhagem, e com aeração periódica (Rodrigues *et al.*, 2008).

2.6. Material Cerâmico

2.6.1. Composição

Os argilominerais, compostos de silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio são a base para elaboração de material cerâmico. Os principais grupos de argilas são a caulinita, a illita e a montmorilonita. A caulinita é normalmente usada para materiais refratários, a illita e a montmorilonita são usadas na fabricação de cerâmica vermelha (Kasmiercsak, 2007).

As propriedades das argilas estão relacionadas aos seus principais constituintes: a alumina (propicia estabilidade dimensional em temperatura elevada), o carbonato e sulfato de cálcio e magnésio (resultam em expansão volumétrica e agem como fundentes), a matéria orgânica (resulta em retração), a sílica livre (diminui a retração e reduz a plasticidade), os sais solúveis (propiciam a eflorescência na cerâmica) e os silicatos e fosfatos (são fundentes) (Kasmiercsak, 2007). A água pode estar nas argilas sob três formas: água de constituição, de plasticidade e de capilaridade (Verçosa, 1994).

2.6.2 Processo de Fabricação

A fabricação de cerâmica envolve diversas etapas, como preparo da matéria-prima, moldagem, secagem e sinterização.

No preparo da matéria-prima, um processo muito utilizado é misturar duas ou mais argilas com a finalidade de corrigir alguma deficiência (Kasmiercsak, 2007), assim como adicionar areia fina para diminuir a retração do produto final (Verçosa, 1994).

A resistência mecânica do produto cerâmico final está relacionada diretamente com a granulometria, por isso quanto mais fina e uniforme a granulometria, mais resistente será o material (Verçosa, 1994). Em relação a granulometria da escória, a variação não alterou os ensaios de: absorção de água, resistência mecânica na ruptura à flexão, devido à escória ter se tornado

inerte e também pela predominância dos defeitos macroestruturais da cerâmica (Intorne *et al.*, 2006).

Quanto à moldagem, ela pode ser dividida em quatro processos (Verçosa, 1994):

- moldagem a seco ou semi-seco (com 4 a 10% de água),
- moldagem com pasta plástica consistente (com 20 a 35% de água),
- moldagem com pasta plástica mole (com 25 a 40% de água),
- moldagem com pasta fluida (com 30 a 50% de água).

A moldagem normalmente usada na fabricação de tijolos, telhas, refratários, tijoletas e tubos cerâmicos é com pasta plástica consistente e uso de extrusora. Além do tamanho, formato e comportamento dos grãos, e presença de outros materiais, a plasticidade da argila depende diretamente da quantidade de água: até 10% para argilas gordas é até 50% para argilas magras (Verçosa, 1994).

Uma argila “gorda” possui alta plasticidade, granulometria fina e composição essencial de argilominerais, enquanto uma argila “magra”, é rica em quartzo e menos plástica.

A secagem pode ser feita de quatro formas: naturalmente, por ar quente-úmido, em secadores de túnel ou por radiação infravermelha. A mais comum nas olarias é a natural, apesar de ser mais demorada.

A grande responsável pela estabilidade dimensional da cerâmica é a retração de queima (Melchiades, 2001). A retração em tijolos, argilas mais magras vai de 1% a 6% (Verçosa, 1994).

Em estudo sobre o efeito da calcita na expansão térmica em materiais cerâmicos para revestimentos, concluiu-se que a calcita provoca um considerável aumento do coeficiente de expansão térmica medido entre 650°C e 1000°C em peças queimadas (Marino & Bosch, 1998). A adição de calcário sobre uma argila utilizada para a fabricação de cerâmicos para revestimentos, mostrou que a presença de calcário na composição da argila altera a retração linear de queima da massa, tornando-a mais refratária e diminuindo a retração (Melchiades *et al.*, 2001).

2.7. Adição de Resíduos ao Material Cerâmico

De acordo com Morete *et al.* (2006), existem inúmeras razões para se reciclar Resíduo Sólido Industrial (RSI) em materiais cerâmicos, entre elas:

- a indústria cerâmica utiliza grandes quantidades de matérias-primas naturais não renováveis,
- as massas cerâmicas utilizadas na fabricação de produtos de cerâmica vermelha permitem uma larga variabilidade de sua composição química e mineralógica,
- porque o processo produtivo não sofre grandes modificações e os metais pesados e substâncias tóxicas podem ser encapsulados na matriz do produto cerâmico sinterizado.

Além das características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas tornarem a indústria cerâmica uma grande opção de reciclagem de resíduos sólidos, a indústria cerâmica é uma grande incorporadora de resíduos industriais porque possui elevado volume de produção, possibilitando grande consumo de resíduos (Calmon, 2007).

Grigolletti & Sattler (2003) estudaram as indústrias cerâmicas do Rio Grande do Sul. Foi verificado por eles que o setor de cerâmica vermelha vem realizando diversas ações relacionadas à redução do impacto ambiental, como o uso de resíduos como insumo e o uso de energia renovável. Todavia, observou-se também a necessidade de diminuir perdas no processo de produção, bem como de melhorar as condições de trabalho e a organização do processo de produção.

As características das indústrias cerâmicas no Rio Grande do Sul podem ser observadas na Tabela 2.1 (Grigolletti & Sattler, 2003). Pode-se verificar na tabela que a capacidade instalada das indústrias pesquisadas varia de 50.000 a 2.000.000 de peças por mês.

Tabela 2.1 – Características de Indústrias Cerâmicas no RS (segundo Grigolletti & Satler, 2003)

Características	Indústria 1	Indústria 2	Indústria 3	Indústria 4
Capacidade instalada (peças/mês)	300.000	400.000	2.000.000	50.000
Produção mensal (peças/mês)	120.000	180.000	750.000	20.000
Produtos produzidos	tijolos e blocos	tijolos maciços	blocos e telhas	blocos 6 furos
Preço médio ao consumidor (R\$/mil peças)	120 a 170	90	117 a 300*	100
Grau de automação**	semi-artesanal	semi-artesanal	semi-automático	artesanal
Número de funcionários	8	13	60	4***
Possibilidades de aperfeiçoamento dos funcionários	não	não	Sim	sim
Distância da jazida	6 km	junto à indústria	2 km	junto à indústria
Propriedade da jazida	própria	própria	própria	própria
Consumo mensal de combustível no transporte da argila	500 litros	400 litros	terceirizado	72 litros
Volume mensal de argila extraído	600 m ³	960 m ³	600 m ³	100 m ³
Fonte energética	lenha e <i>refil</i>	lenha e <i>refil</i>	óleo BPF / lenha	lenha (própria)
Consumo energético mensal do forno	100 m ³	180 m ³	40 t/300 m ³	88 m ³
Consumo mensal de eletricidade e outros	4.000 kWh	3.200 kWh	80.000 kWh	20 l (diesel)
Encaminhamento do descarte	aterro no local	venda como material de 2 ^a	depósito no local	aterro e pav. do local
Resíduos oriundos de outras indústrias				papel (queima)
Mercado consumidor	até 100 km	regional	estadual	local
Tipo de mercado consumidor	direto e lojas de mat. de construção	construtoras e eng. civis autônomos	lojas de materiais de construção	lojas de materiais de construção

* Valores de venda ao consumidor dos tijolos, blocos e telhas.

** Presença de alguns equipamentos, tais como esteiras, trilhos com vagonetas, entre outros, que diminuem o uso de mão-de-obra.

*** Três dos trabalhadores são sócios da indústria.

A incorporação de resíduos industriais naturais e sub-produtos em material cerâmico para uso industrial foi testada e mostrou-se promissora para refratários e materiais tipo cimento, embora a presença de impurezas nos materiais residuais induza alterações em propriedades importantes (resistência mecânica e refratariedade) (Raupp-Pereira *et al.*, 2006).

Diversos tipos de resíduos já foram testados. O aproveitamento de lama de lavagem de minério de ferro gerada em mineração como adição a cerâmica vermelha também já foi estudado. Com teores de adição de 10% e 20%

concluiu-se que a lama pode ser utilizada, pois não houve diferença nas propriedades em relação ao material sem resíduo (Lima, 2002).

Até mesmo a viabilidade de adição de resíduo de pó de fumo à massa cerâmica já foi verificada. Este resíduo é considerado Classe I, mas se torna inerte após incorporação na massa cerâmica e sua sinterização (Lopes, 2005).

Resíduos industriais com baixa granulometria (pó de aciaria, resíduo de atomizador de indústria de revestimento cerâmico e resíduo do polimento do grês porcelanato) também têm sido adicionados com sucesso em massas cerâmicas de argila vermelha. Importante ressaltar que foram realizados ensaios ambientais para o pó de aciaria, que apresentou limite superior à norma NBR 10004 (ABNT, 2004), para o elemento cromo, quando queimado a 950°C, apresentando-se inerte em temperatura de 110 0°C (Pureza, 2004).

A adição de chamota (filetes de blocos cerâmicos descartados) em massa cerâmica em cinco granulometrias diferentes foi testada após a secagem. A partir dos resultados obtidos verificou-se que a plasticidade da massa varia de acordo com a adição de diferentes granulometrias e percentuais de resíduo e diminui de acordo com sua adição e o aumento do tamanho das partículas, assim como a granulometria grosseira (1,4µm) em teores elevados ocasiona trincas na massa cerâmica, visíveis a olho nu, após a secagem em estufa (Vicenzi & Bergamnn, 2009)

O pó de aciaria, resíduo composto de óxidos de metais pesados, foi estudado para colocação na cerâmica vermelha, com a idéia de inertização. O resultado mostrou viabilidade econômica e ambiental na adição de até 3% em massa de pó de aciaria em massa de cerâmica vermelha, sem alteração das características e propriedades do produto final (Montedo *et al.*, 2003). A adição de lama de aciaria em cerâmica vermelha, em teores de até 20%, em massa, foi analisada com vistas a avaliar a microestrutura da cerâmica e o grau de inertização de elementos potencialmente tóxicos. Os resultados foram positivos, indicando que é tecnicamente viável a reciclagem do resíduo em cerâmica (Vieira *et al.*, 2007).

A adição de resíduo sólido gerado no acabamento de peças Zamac (liga de zinco) e vidro em materiais cerâmicos também foi analisada e concluiu-se

que o material cerâmico produzido com o resíduo previamente calcinado e com 50% de vidro apresentou resultados que permitem uso como placas cerâmicas de revestimentos (Bertuol, 2003).

Para a fabricação de revestimento cerâmico, Oliveira *et al.* (2003) verificaram que a adição de resíduos de siderurgia não altera, significativamente, as propriedades de tensão de ruptura à flexão, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e retração linear, quando comparada à massa cerâmica pura, para temperaturas de 1000°C e 1050°C. Entretanto, para a temperatura de 950°C foi verificado que somente a massa contendo 1,0%, em peso, de resíduo de siderurgia atingiu as especificações em termos de resistência mecânica e absorção de água.

Moraes (2007) estudou o aproveitamento do resíduo de beneficiamento de caulim na produção de porcelanato cerâmico. Os teores de adição de caulim na massa padrão foram de 1, 2, 4, 6, 8, 16 e 32%. Os resultados obtidos mostraram que esse resíduo em até 16% de adição pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de pisos e revestimentos cerâmicos do tipo porcelanato.

Borlini *et al.* (2005) estudaram cinza proveniente da combustão de lenha predominantemente de eucalipto visando à incorporação em cerâmica vermelha e verificaram que a cinza de lenha é composta predominantemente por carbonato de cálcio; tem tamanho médio de 0,15 mm. A cinza pelo seu relativamente elevado teor de óxidos alcalinos e alcalino-terrosos pode contribuir para redução da porosidade de queima através da formação de fase líquida.

O material cerâmico também tem sido visto como um receptor adequado para vários tipos de lodos de ETE (estação de tratamento de efluente), adicionado ao material cerâmico como único resíduo ou juntamente a outros.

Vitrocerâmicas produzidas com adição de resíduos de lodo de estação de tratamento de água, carbonato de cálcio e vidro foram estudadas e apresentaram boa resistência mecânica (cerca de 100 MPa) e excelente durabilidade química em solução alcalina para a temperatura de sinterização de 1000°C (Toya *et al.*, 2007).

Fernandes (2002) testou o uso de lodo de ETE de indústria cerâmica, em material cerâmico em escala industrial e concluiu que é viável sua utilização de até 1%, em massa, do resíduo, diminuindo cerca de 2360 ton/ano de resíduos da ETE que iriam para aterro, além de ganhos financeiros para a empresa. Enquanto, Duarte (2008) incorporou também o lodo de esgoto em massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços e verificou sua viabilidade técnica e ambiental, podendo ser adicionado em até 20%.

O lodo de ETE de indústria de papel tem viabilidade técnica e econômica para ser utilizado no fabrico de material cerâmico em adição de até 20%, com temperatura de queima de 900°C (Collatto, 2008). Campregher (2005) apontou melhores resultados na adição de 5% e 10% deste tipo de lodo.

Em um estudo de viabilidade da incorporação do lodo de pintura da ETE de indústria automobilística para a produção de cerâmica estrutural, foi verificado através de ensaios de retração linear, densidade aparente, absorção de água, resistência mecânica à flexão e análise estatística que é possível a adição do lodo em até 10% sem alteração das qualidades do material final. Entretanto, para a produção de telhas a queima teve que ser feita acima de 1000°C, para atender as especificações (Mendes, 2008).

Brehm *et al.* (2007) pesquisaram a potencialidade de adição de lodo de fosfatização (LF), proveniente do processo de revestimento de fosfatização de aço, em cerâmica vermelha. Os resultados obtidos para as propriedades verificadas (ensaios de resistência à flexão, absorção de água, perda ao fogo, retração linear, lixiviação e solubilização), indicaram que uma adição de até 5% de lodo em cerâmica vermelha atende as exigências da norma e literatura, para as condições da pesquisa. A partir de resultados positivos em laboratório, Brehm *et al.* (2008) pesquisaram o uso de lodo de fosfatização como matéria-prima para a produção de blocos cerâmicos de vedação de seis furos, em escala industrial. A partir dos resultados obtidos com as caracterizações: mineralógica (difração de raios-X), química (fluorescência de raios-x), física (geometria), mecânica (absorção de água, absorção de água inicial e resistência à compressão) e ambiental (lixiviação e solubilização), verificou-se que para a adição de 2,5% de lodo em blocos cerâmicos é viável.

Também a incorporação de lodo galvânico em massa cerâmica foi verificada através de ensaios ambientais de lixiviação e solubilização e mostrou-se viável em até 2% de adição, pois ocorre a inertização dos componentes tóxicos (Balaton *et al.*, 2002).

2.7.1. Escória em Material Cerâmico e em Associação de Resíduos

Os materiais cerâmicos e as escórias de aciaria possuem constituintes comuns (óxidos de diferentes metais, sais solúveis, carbonatos, entre outros), por isso a utilização das escórias em tijolos é uma boa alternativa para aumentar o teor desses constituintes na massa cerâmica e melhorar as propriedades finais do produto (Rosa, 2001).

A fabricação de telhas, tijolos de alvenaria a partir da mistura argila-escória de alto-forno são possíveis (Moreira & Costa, 2006). Entretanto, o uso de escória de aciaria para o mesmo fim ainda é um desafio, principalmente porque a escória de aciaria possui baixa concentração de SiO_2 e composição química variável, o que limita o seu uso (Ferreira *et al.*, 2002).

De acordo com alguns autores a escória apresenta-se com composição química constante ao longo do tempo, outros acreditam que não. De acordo com o verificado nesta pesquisa até o momento acredita-se que não tenha uma composição química constante ao longo do tempo devido a fatores intrínsecos do processo e no beneficiamento.

Kumar *et al.* (2006) verificaram que o cerâmico com adição de escória de alto forno, minério de ferro e cinza volante melhorou a dureza (>6 Moh's) e a resistência à flexão (> 25 MPa).

Estudos com adições progressivas de escória de cobre iraniana em argila para a produção de telhas e mosaicos com necessidade de resistência a ácidos mostraram que a melhor combinação das propriedades é alcançada com a adição de até 40% desta escória, em massa (Marghussian & Maghsoodipoor, 1999).

Na fabricação de materiais cerâmicos também podem ser utilizadas a escória de alto-forno e a escória Saudi (à base de manganês e silício), em adições entre 57 e 90%, em massa (Khater, 2002).

A adição de escória de alto-forno em argila apresentou resultados satisfatórios em relação aos ensaios de retração linear, densidade aparente, absorção de água e resistência à flexão das amostras, para a faixa de temperatura de 1150-1200°C (Dana *et al.*, 2005). O mesmo estudo verificou que os óxidos alcalino-terrosos presentes na escória melhoraram a resistência mecânica, tornando o produto adequado para o uso em edifícios domésticos ou como pisos cerâmicos industriais.

No desenvolvimento de revestimento cerâmico com escória de alto-forno granulada com mistura de cálcio (que provoca a formação da wolastonita) também foram obtidos bons índices de resistência mecânica (28-38 MPa) e absorção de água (2,5-0,1%) (Gosh *et al.*, 2001).

Blocos com escória de aciaria elétrica, gerada pela Belgo Mineira (São Paulo) mostraram-se tecnicamente satisfatórios para a finalidade de alvenaria e vedação (Cesar, 2008).

Entre os problemas com este tipo de material citados na bibliografia, destaca-se a ocorrência de pontos pretos na superfície dos blocos, originados pelos óxidos de metais remanescentes na escória (Nishigaki, 2000).

Wang *et al.* (2009) estudaram a reação entre tijolos de cromo-magnésio (MgO-Cr₂O₃) e escórias do sistema MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO-Fe_tO através de um teste de corrosão da escória e análise de microestrutura. Os resultados obtidos mostram que a escória fundida reage com o tijolo, através da análise da microestrutura identificando fase precipitada de (Mg, Fe) (Al, Cr)₂O₄ na matriz MgCr₂O₄.

2.8. Análise Crítica da Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica realizada permite-nos constatar que escórias provenientes de diversos processos de geração vêm sendo estudadas ao longo das últimas décadas, com a finalidade de buscar alternativas de reciclagem e reutilização dos resíduos gerados. Esses estudos tentam solucionar o problema do grande volume de escória gerado e os custos de uma disposição adequada.

Esta breve revisão mostra também que a comunidade científica, por sua vez, percebeu a necessidade de mais estudos na área de reciclagem de resíduos e por isso vem buscando alternativas para a diminuição dos resíduos gerados e sua reciclagem em vários setores de atividades.

A indústria siderúrgica, primeiramente por questões econômicas e depois devido às questões ambientais, foi um dos primeiros setores industriais a se preocupar com a reciclagem de seus resíduos. Assim, teve início um expressivo avanço tecnológico com a criação de materiais compósitos que possuem propriedades químicas e físicas que lhes permitem ser utilizado em diversas situações.

Percebe-se que existem resíduos consolidados na construção civil, como a cinza volante, sílica ativa, fibra de vidro, resíduos de caulim e fibras vegetais.

Em relação às escórias, as formas de reciclagens mais usuais são a recuperação metálica por beneficiamento na empresa (reciclagem interna) e o uso em pavimentação, cimento e concreto (reciclagem externa) e até como um co-produto já no mercado a ACERITA.

No mundo, a reciclagem externa da escória está consolidada no uso em pavimentação, desde que seja controlada a expansibilidade; e a reciclagem interna é significativa.

Quanto às formas de reciclagem de cada tipo de escória observa-se que a mais estudada vem sendo a escória de aciaria elétrica LD, seguida da escória de alto forno.

A tendência dos trabalhos mais recentes no mundo é a associação de escória e mais um resíduo, como para incorporação no material cerâmico em teores razoavelmente elevados, ou no concreto.

Dentre os resíduos da indústria siderúrgica, a escória de forno panela de aciaria elétrica está entre os que contam com menos estudos voltados à sua reciclagem. Essa escória vem sendo estudada principalmente como reciclagem externa no cimento, agregado em concreto e mais recentemente na mineração, como neutralizante de drenagem ácida de mina.

Resíduos sólidos industriais, como escórias de diversos processos, vêm sendo utilizados ao longo dos últimos anos para diversos fins com sucesso. Acredita-se, portanto que a adição de escória de forno panela de aciaria elétrica em material cerâmico também poderia ser uma alternativa econômica, técnica e ambientalmente viável.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando alcançar o objetivo de avaliar a viabilidade técnica da utilização da escória de forno panela como adição em material cerâmico, o trabalho foi estruturado em três etapas: segregação e amostragem de resíduos na empresa, caracterização dos resíduos e formulação dos traços, preparação e análise dos corpos de prova (Fig. 3.1).

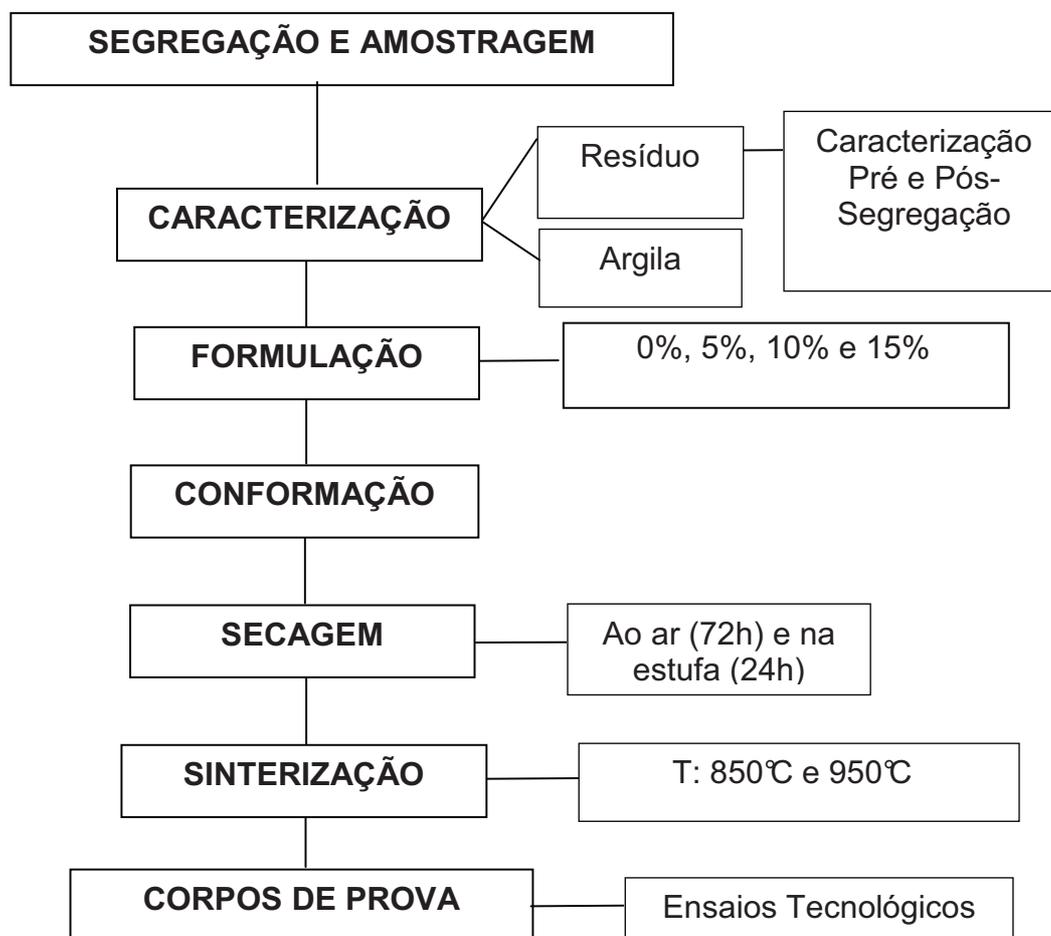


Figura 3.1 – Fluxograma da Metodologia.

3.1. Segregação e Amostragem

O presente trabalho faz parte do projeto de pesquisa Inovação em Engenharia, em desenvolvimento desde outubro de 2007, contando com apoio

financeiro da FINEP e de empresa siderúrgica para em sua meta 2 desenvolver as seguintes atividades:

- Atividade 1: Levantamento de dados referente aos processos de fabricação de ligas ferrosas envolvidos e acompanhamento da rota de descarte na Aciaria, transporte, processamento e descarte final do resíduo.
- Atividade 2: Coleta de amostras não segregadas e segregadas do resíduo de aciaria geradas durante os processos de fabricação de aço na empresa siderúrgica.
- Atividade 3: Utilização de técnicas de caracterização disponíveis para caracterização de materiais selecionados.
- Atividade 4: Estudo da potencialidade da reciclagem interna e externa dos resíduos segregados e caracterizados.

Estas atividades foram divididas entre o grupo de pesquisa NucMat/UNISINOS (Núcleo de Caracterização de Materiais da Universidade do Vale do Rio dos Sinos), um grupo de colaboradores do setor de Aciaria e gestores ambientais da empresa siderúrgica no sentido de avaliar as possibilidades de segregação de resíduos de aciaria e sua reciclagem, cuja seqüência de trabalho pode ser observada na Fig. 3.2, a seguir.

O beneficiamento dos resíduos da empresa siderúrgica é feito pela empresa Multiserv, que atua na área de serviços terceirizados para empresas de ferro e metais em geral, em diversos países. Essa empresa atua em serviços de apoio à aciaria, que compreendem ações como o recolhimento dos resíduos de aciaria nas baias, transporte até a sua planta e beneficiamento (Multiserv, 2009).

Devido a uma redução de custo na empresa siderúrgica desde o final de 2008, os resíduos estão sendo armazenados em pilhas e não estão sendo enviados para aterro industrial.

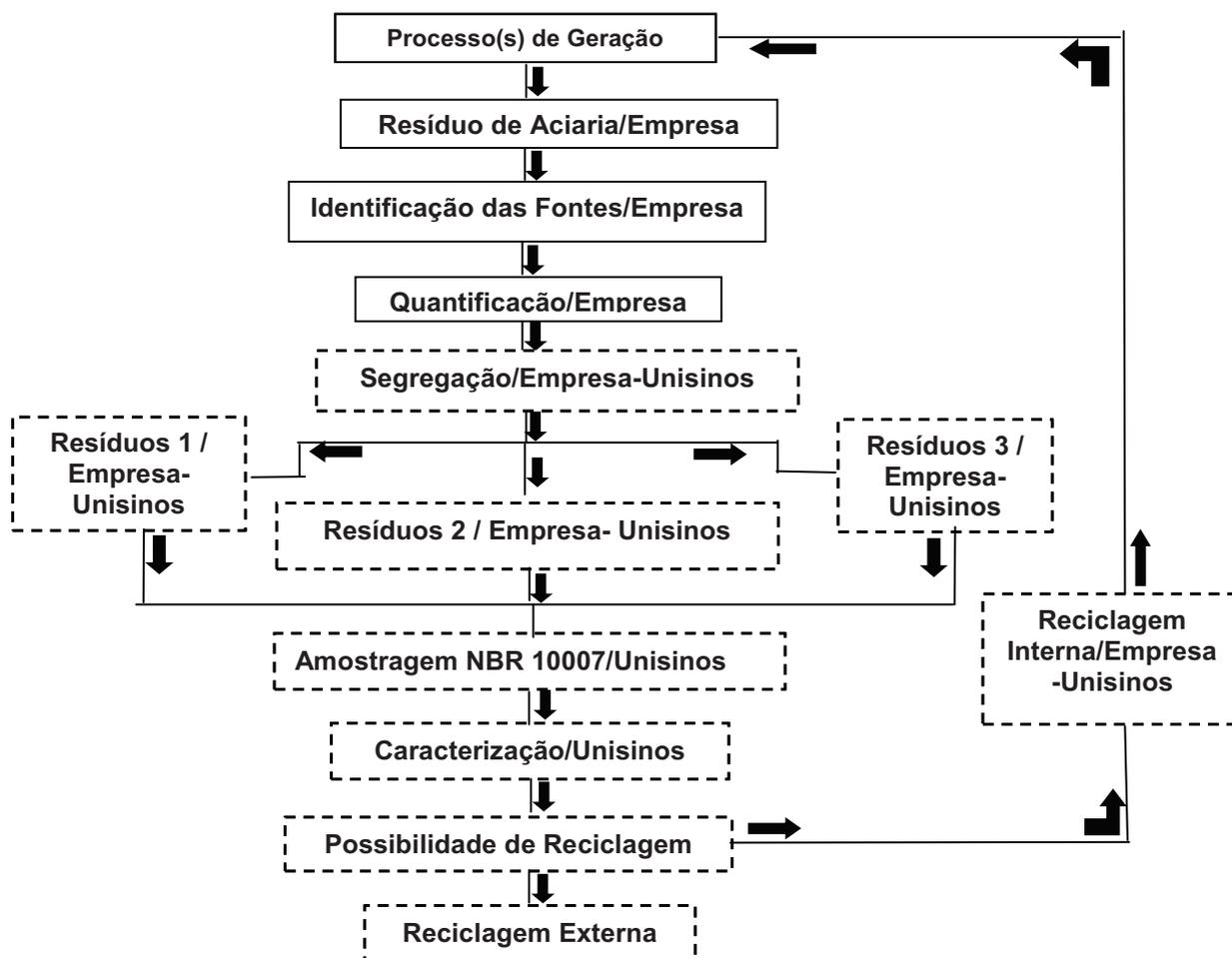


Figura 3.2 - Fluxograma da seqüência de trabalho no projeto de pesquisa.

Foram realizadas duas amostragens para atender as premissas do projeto detalhado anteriormente. A primeira foi realizada antes da empresa começar a fazer a segregação efetiva da escória, que foi uma amostragem no resíduo não segregado.

A amostragem no resíduo não segregado foi realizada em pilhas de 9 baias localizadas em vários locais do prédio da aciaria, enquanto a coleta no resíduo segregado foi realizada em duas pilhas com tempos de estocagem de 1 Dia e 45 Dias, respectivamente, após beneficiamento na empresa beneficiadora.

As etapas de beneficiamento dos resíduos são: molhagem (para evitar o pó), britagem primária e separação eletro-magnética. Na etapa de separação

eletro-magnética o material é dividido em metal e não-metal, e realizado então uma separação granulométrica que vem a ser dividida em três frações: grosseira, média e fina.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, em função da melhor segregação que passou a ser efetuada pela empresa, tornou-se possível uma nova amostragem de acordo com a NBR 10007 (Fig. 3.3 e 3.4). Dessa forma, foi possível analisar a influência da segregação na reciclagem do material.



Figura 3.3 – Pilhas no local de estocagem, localizadas na planta da empresa beneficiadora.



Figura 3.4 - Quarteamento do resíduo.

Nesta amostragem, foram coletadas escórias das duas pilhas (local de disposição na aciaria nos tempos de estocagem de 1 dia e 45 dias, respectivamente).

O local de amostragem, escolhido em conjunto com a empresa geradora dos resíduos sólidos, foi o que continha o material mais bem segregado e homogêneo. Nas pilhas ainda foram encontrados outros resíduos misturados a escória, alguns provavelmente decorrentes do processo de fabricação do aço, como pedaços de peças metálicas e refratários. Outros podem ser atribuídos a uma mistura após a geração, tais como vidros, tecidos, plásticos, espuma e madeira (Fig. 3.5). Vale ressaltar que essa mistura de outros resíduos com a escória está ocorrendo em menor quantidade, evidenciando que está havendo uma melhor segregação na empresa.

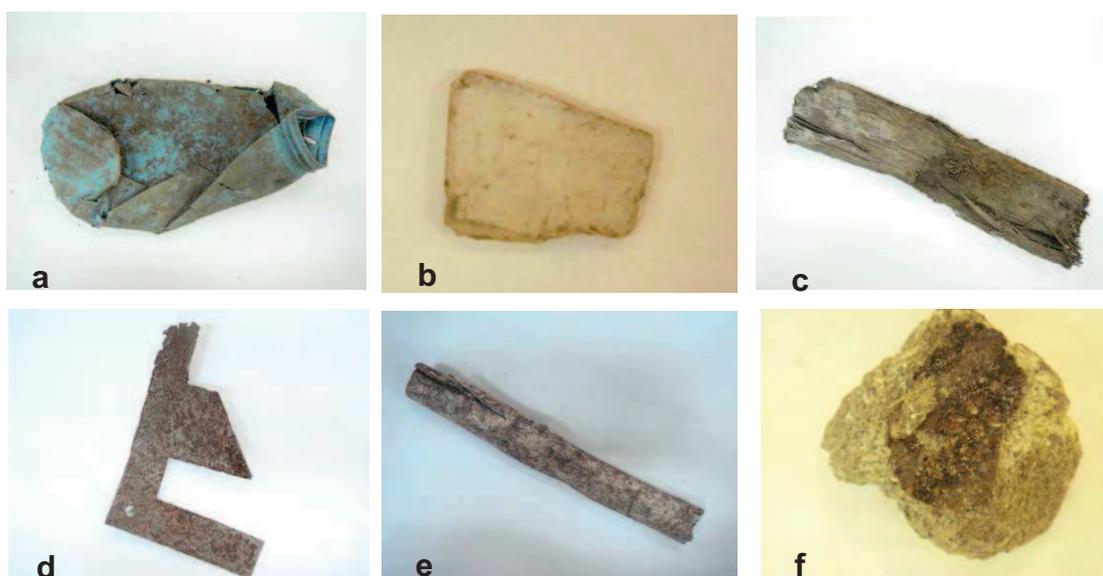


Figura 3.5 – Resíduos misturados. Durante o processo de geração do aço (d, e, f) e os posteriormente a geração (a, b, c).

Os resíduos foram amostrados segundo a ABNT/NBR 10007 (2004), e acondicionados em dois tonéis, com aproximadamente 50 kg de resíduo cada.

As amostras de escórias passaram por um segundo quarteamento ao serem retiradas dos tonéis em que foram acondicionadas. De cada um foi separado em torno de seis quilos, suficientes para a realização das análises de caracterização, que foram secos em estufa a 100°C por 18 horas.

3.2. Caracterização do Resíduo de Aciaria Não Segregado

Preliminarmente foi feita esta amostragem para consolidar a necessidade da empresa implementar a etapa de segregação de seus resíduos junto ao processo gerador como apresentado no fluxograma da figura 3.2.

A caracterização do resíduo não segregado consistiu primeiramente na identificação visual de diversos tipos de resíduos que acompanhavam a escória (Fig. 3.6).

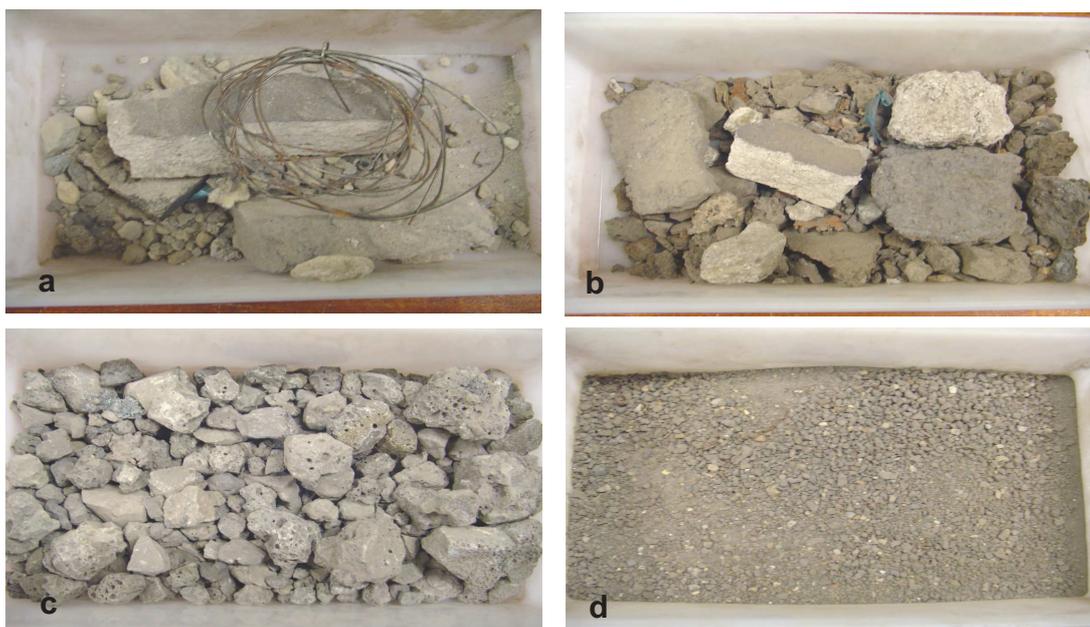


Figura 3.6 – Resíduo não-segregado: (a) refratário, arame, plástico, lã de vidro, (b) concreto, plástico, tijolo, refratário, papel .Resíduo Segregado: (c) escória graúda e (d) escória miúda.

O resultado da análise visual contribuiu para que a empresa implantasse imediatamente a segregação na aciaria, não precisando esperar os resultados finais da pesquisa, em consonância com a implementação do programa de Produção Mais Limpa que o NUCMAT/UNISINOS vinha desenvolvendo na empresa na época.

Foi realizada além da análise visual, uma separação magnética onde se determinou grande quantidade de fase metálica. Alguns contaminantes foram observados, em especial, nas baias contendo escória.

3.3. Caracterização da Escória de Forno Panela

A segregação passou a ser priorizada pela empresa, que anteriormente não tinha visualizado esta necessidade. Assim, foi escolhida para estudo a escória do forno panela de aciaria elétrica devido ao seu maior volume de geração e maior potencialidade de reciclagem.

Os resíduos segregados puderam ser melhor caracterizados, visto sua homogeneidade. As análises realizadas foram específicas visando à avaliação do potencial de aplicação da escória do forno panela.

Este material foi então utilizado em diversos tipos de análises (química, física, mineralógica, microestrutural e ambiental), conforme ilustrado pela Figura 3.7. As amostras que passaram pela caracterização foram as com 1 Dia (D1) e com 45 Dias (D45) de estocagem no pátio.

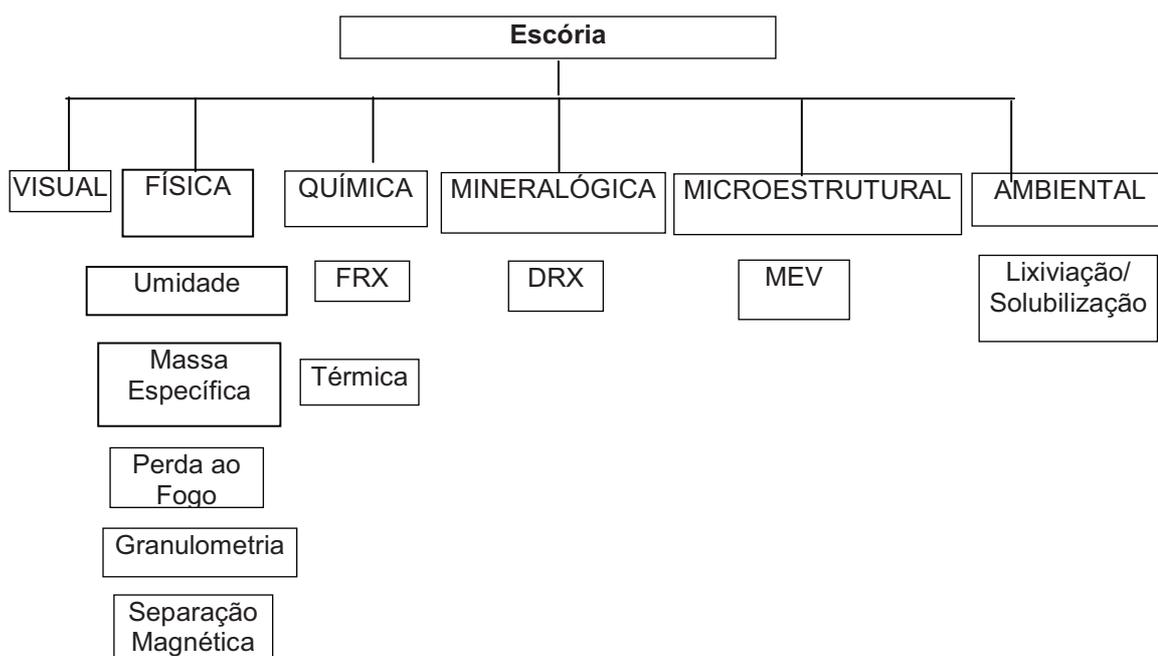


Figura 3.7 – Análises empregadas na caracterização da escória.

3.3.1. Caracterização Física

A caracterização física incluiu os ensaios para a determinação da umidade, massa específica, perda ao fogo, análise granulométrica e separação magnética.

3.3.1.1. Umidade

A determinação da umidade da escória foi realizada quando o resíduo chegou na universidade (dois dias após a amostragem), para que se determinasse a umidade da escória como recebida.

Foi utilizado o determinador de umidade, modelo Top Tay (Bel Engineering), do Laboratório de Fundição / UNISINOS / RS.

3.3.1.2. Massa Específica

A determinação da massa específica foi realizada nas escórias D1 e D45 com a granulometria $\leq 0,59\text{mm}$ a ser utilizada como adição ao material cerâmico. A norma seguida foi a NBR 6508 (ABNT, 1984), no Laboratório de Mecânica dos Solos da UNISINOS / RS.

3.3.1.3. Perda ao Fogo

O ensaio de perda ao fogo das escórias D1 e D45 foi realizado na escória com a granulometria $\leq 0,59\text{mm}$, conforme a norma CEMP n° 120 (ABIFA, 2003). O ensaio consiste basicamente em colocar 1g do material, após secagem em estufa (105°), em forno mufla a 950°C durante 3 horas. Após o material é pesado até atingir massa constante. Foi realizado no Laboratório de Metalurgia Física da UNISINOS / RS.

3.3.1.4. Granulometria

A distribuição granulométrica foi obtida para as amostras de escória D1 e D45 no Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS, segundo a norma NBR NM 248 (ABNT, 2001) O objetivo da análise granulométrica foi verificar a granulometria predominante. Foram utilizadas Tamises redondas, agitador eletro-magnético (Bertel Indústria Metalúrgica Ltda) e balança eletrônica de precisão com sensibilidade de 0,1g e tempo de estabilização de 3s (Marte Balanças e Aparelhos de Precisão Ltda) modelo AM 5500.

A análise das escórias em granulômetro a laser foi realizada, entretanto por não conter dados essenciais para o esclarecimento deste trabalho não fazem parte dos resultados (Anexo 4).

3.3.1.5. Separação Magnética

Foi passado um imã manual no material retido em cada peneira da análise granulométrica. Essa análise foi realizada para as duas escórias como recebidas, para verificação de fase metálica. A separação magnética foi realizada no Laboratório de Materiais da Construção/UNISINOS.

3.3.2. Caracterização Química

3.3.2.1. Análise Química

As análises químicas foram realizadas nas amostras das escórias D1 e D45, como recebidas pelo método de fluorescência de raios-x (qualitativa e quantitativa) no laboratório da empresa siderúrgica e pelo mesmo método entretanto apenas qualitativa no Laboratório de Metalurgia Física da UNISINOS, em espectrômetro, marca Shimadzu.

Foram realizadas duas análises químicas em cada laboratório, uma para cada amostra de escória (D1 e D45). Os elementos analisados foram: Si, Mn, P, S, Cr, V, Ti, Al, Mg, Ca, Fe, Na e K.

A finalidade foi conhecer a composição química elementar do material.

3.3.2.3. Análise Térmica

Na análise térmica foram empregadas a Termogravimetria (TG) e Análise Térmica Diferencial (ATD). As análises térmicas (TG e ATD) são métodos complementares às outras análises, para auxiliar na identificação de compostos gerados a partir do Ca, assim como avaliar fenômenos resultantes de transformações químicas ou físicas (Graffitti, 2002).

A amostras D1 e D45 para a TG e ATD tiveram que ser moídas, com mão de gral (Laboratório de Mecânica de Solos) até a granulometria de 200 µm. Para cada análise foram empregadas 20g. As análises foram realizadas no laboratório de materiais de construção (LMC) UNISINOS / RS.

3.3.3. Caracterização Mineralógica

3.3.3.1. Difração de Raios-X

A caracterização mineralógica de compostos cristalinos das amostras de escória foi realizada por difração de raios-x. Foram empregadas amostras D1 e D45 moídas em gral de ágata até 44 µm.

As análises foram feitas no difratômetro Siemens D5000, do Instituto de Física da UFRGS e os resultados foram analisados no software Philips X' Pert Graphics & Identify.

3.3.4 Caracterização Micro Estrutural

3.3.4.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise no MEV tem a finalidade de confirmar os elementos presentes na escória identificados pela análise química e apontadas pela difração de raios-x. Além disso, pretende-se visualizar compostos expansivos.

Foram feitas análises nas escórias D1 e D45 por microscópio eletrônico de varredura (MEV) com emissão de elétrons secundário e com microanálise elementar via espectrometria de raios-x por dispersão de energia (EDS). Foi utilizado o microscópio Shimadzu SSX-550 do SENAI/CETEMP, de São Leopoldo.

Foram utilizadas amostras de escória com granulometria $\leq 0,59$ mm, por ser a granulometria escolhida para a adição ao cerâmico. O recobrimento foi realizado por metalização com Au.

3.3.5 Caracterização Ambiental

3.3.5.1. Análise Ambiental

As análises ambientais foram realizadas de acordo com as normas NBR 10005 (ABNT, 2004) e NBR 10006 (ABNT, 2004), respectivamente de Lixiviação e Solubilização. Foram analisados os seguintes elementos, pra

lixiviação e solubilização: As, Ba, Cd, Cr, Mg, Ag, Se, Fe, Pb, Ca, Hg, fenol e fluoreto.

3.4. Caracterização da Argila

A argila empregada nesta pesquisa foi doada pela Olaria Brasil, e é proveniente de uma jazida localizada na região metropolitana de Porto Alegre/RS. De acordo com a localização da jazida, a argila é do Grupo Passa Dois, de Idade Permiana, entretanto nota-se pela análise química que ela foi misturada a outras argilas.

A argila usada pode ser classificada como “magra”. Foi caracterizada segundo sua composição química, características físicas, térmicas e propriedades mecânicas.

3.4.1. Análise Química

A análise química qualitativa da argila foi realizada pelo método de fluorescência de raios - X, no Laboratório de Análises químicas do CIENTEC/RS, em espectrômetro, marca Rigaku, modelo RIX 3100 (Anexo 1).

Os elementos de maior quantidade são Si e o Fe, relacionado diretamente com sua origem e devido à mistura de argilas diferentes na fonte, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Composição química da argila.

Elementos	Argila
Maior quantidade	silício (Si) e ferro (Fe)
Menor quantidade	alumínio (Al), potássio (K), cálcio (Ca), titânio (Ti) e manganês (Mn)
Traços	magnésio (Mg), rubídio (Rb), estrôncio (Sr), fósforo (P) e zircônio (Zr).

3.4.2. Massa Específica

A determinação da massa específica da argila foi executada no Laboratório de Mecânica dos Solos da UNISINOS, segundo a norma ABNT/NBR 6508/84. A massa específica da argila é 2,63 g/cm³.

3.4.3. Limite de Plasticidade

O objetivo desse ensaio é verificar a quantidade de água necessária na argila, para que ela adquira plasticidade. O limite de plasticidade (LP) da argila é de 28,73% e foi obtido através de ensaio, de acordo com a norma NBR 7180 (ABNT,1982).

3.4.4. Análise Térmica

Os métodos de análises térmicas utilizados foram a Termogravimetria (TD) e Análise Térmica Diferencial (ATD). As análises foram feitas no Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS, com o Sistema de Análise Térmica, modelo RB * 3000 * 20, fabricado pela BP Engenharia Indústria e Comércio Ltda.

De acordo com a análise térmica da argila (Anexo 4), podem-se identificar dois picos endotérmicos em 99°C e 594°C , o primeiro pico corresponde a perda de água da amostra e o segundo provavelmente a decomposição de compostos que contêm oxigênio (sulfatos ou carbonatos). O único pico exotérmico ocorre em 130°C e representa possivelmente a oxidação de matéria orgânica, segundo Barba *et al.* (2002)

A análise termogravimétrica visualiza-se a perda de massa, obtida para a argila (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Perda de massa da argila.

	Temperatura (°C)	Perda de Massa (%)	Perda de massa
Argila	118	3,38	8,08
	586	4,57	

A perda de massa da argila é de 8,08%, onde na temperatura de 116°C houve a primeira perda de massa, correspondente a perda de água livre (picos entre 100-150°C). A segunda perda de massa a 586°C está ligada à provável perda de água adsorvida (Barba *et al.*, 2002; Kazmierczack, 2007).

3.5. Formulação dos Traços e Conformação dos Corpos-de-Prova

Seguindo os passos do Programa Experimental, foram elaborados traços com adição de 0%, 5%, 10% e 15% de escória de forno panela no material cerâmico para a confecção de corpos de prova.

3.5.1. Preparação dos Componentes

3.5.1.1. Argila

A argila utilizada foi seca em estufa (Fanen Ltda), em temperatura de 110°C por 48 horas. Após a secagem, partes da argila mais consolidadas foram cominuídas, para homogeneizar a amostra e facilitar a mistura.

3.5.1.2. Escória de Forno Panela (EFP)

A escória foi seca em estufa (De Leo) para que sua umidade não interferisse na umidade da mistura e conseqüentemente nos resultados. A secagem foi em temperatura de 100°C por 24 horas. Acima desta temperatura a escória poderia sofrer oxidação.

Inicialmente tentou-se separar as escórias apenas por peneiramento. Para tanto, 7 kg de amostra (limitação do equipamento) foram colocados em máquina vibratória e tamises quadradas (Telastem Peneiras para Análises Ltda). Segundo a norma NBR/MN 248 (ABNT, 2001), foi separada a escória passante na peneira de 1,18 mm e peneirada novamente essa fração no agitador eletro-magnético e tamises redondas (Bertel Indústria Metalúrgica Ltda).

O material retido acima da peneira quadrada de 1,18 mm foi moído em moinho horizontal de bolas, modelo CT * 240/B (Servitech serviços técnicos e representações Ltda) para que também chegasse a granulometria $\leq 0,59\text{mm}$.

Foi necessário realizar um teste prévio para determinar o tempo ideal para moer a escória $\leq 0,59\text{mm}$, para que não houvesse um gasto de energia desnecessário no processo e também de tempo. Para isso foi utilizado o moinho excêntrico, modelo CB2-T (BP Engenharia indústria e comércio Ltda).

Controlou-se o tempo em 30 minutos, 1h e 1:30h. Nesses tempos o moinho era parado e peneirada toda a amostra, para se verificar a quantidade obtida de escória $\leq 0,59$ mm. O tempo ideal determinado para o funcionamento do moinho foi de 30 minutos.

O material com granulometria $\leq 0,59$ mm foi então gerado e separado na quantidade necessária (21,6 kg) para a utilização junto ao cerâmico por ser o predominante.

Rosa (2001) incorporou escória de aço inoxidável em material cerâmico numa granulometria $< 1,0$ mm, para obtenção dessa granulometria ela utilizou um britador de mandíbula.

A argila e o resíduo, após a etapa de preparação foram então colocados num misturador de argamassa, modelo MH – 50 (Consolid Locadora), para que houvesse a homogeneização da mistura. O tempo foi de aproximadamente 10 min., variando de acordo com o traço.

3.5.2. Formulação

Foram confeccionados 700 corpos de prova cerâmicos, sendo 100 corpos do traço referência e 600 com as escórias D1 e D45. A escória com granulometria $\leq 0,59$ mm foi adicionada à argila em teores de 5%, 10% e 15%.

É importante colocar o mínimo de água possível para a moldagem, pois os teores excessivos podem gerar elevadas contrações durante as etapas de secagem e queima, acarretando num aumento da porosidade, perda de resistência mecânica e aumento de permeabilidade à água (Verçosa, 1994; Kazmiercsak, 2007). Por isso, a adição de água em massa à escória foi feita aos poucos, até que a massa se tornasse plástica, variando de acordo com a porcentagem de resíduo no traço.

Os traços com resíduos estão na tabela 4.3.

O traço referência foi calculado em 12 kg de argila, quantia suficiente para a elaboração de cerca de 50 corpos de prova (CP). A água adicionada foi diminuída em função do aumento no teor do resíduo.

Tabela 4.3 – Formulação.

TRAÇOS	TEORES		
	5%	10%	15%
D1	argila (12 kg) escória (1,2 kg) e água (27,62%)	argila (12kg) escória (2,4 kg) e água (26,25%)	argila (12kg) escória (3,6 kg) e água (25,58%)
TD45	argila (12 kg) escória (1,2 kg) e água (27,77%)	argila (12kg) escória (2,4 kg) e água (26,21%)	argila (12kg) escória (3,6 kg) e água (25,64%)

3.5.3. Conformação

As formulações foram extrusadas em uma maromba a vácuo (modelo 051, Verdés Ltda), no Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS. Os corpos-de-prova são retangulares, com uma área da base média de 19,39 X 81 mm² e espessura média de 10,25 mm.

3.5.4. Secagem

Os CP's após serem conformados ainda contém de 5 a 35% de água, por isso a etapa de secagem é tão importante quanto a etapa de sinterização. Caso o material seja colocado ainda úmido no forno, a umidade do interior ficará retida e ocorrerão tensões internas e fendilhamento (Verçosa, 1994). Sendo assim, a secagem dos corpos-de-prova foi executada em duas etapas: secagem ao ar e em estufa (Collatto, 2008).

A secagem ao ar foi realizada com a exposição das peças conformadas em uma sala climatizada, com temperatura constante de 24±1°C e umidade relativa de ≈70%.

O tempo de secagem ao ar foi de 72 horas, visualmente suficiente para o desaparecimento da umidade superficial dos corpos-de-prova. Nas primeiras 24 horas ficaram cobertos com pano úmido.

A secagem em estufa (De Leo equipamentos para laboratório Ltda) foi realizada a temperatura de 100°C por 24 horas.



Figura 3.9 – Corpos de prova do Traço-D45(5%) cru.

3.5.5. Sinterização

Os corpos de prova foram sinterizados em forno elétrico (modelo DTT1250, Irmãos Sanchis e Cia Ltda), em temperaturas de 850°C e 950°C. Estas temperaturas foram escolhidas por serem temperaturas usuais utilizadas em olarias.

3.5.6. Ensaios dos Corpos de Prova

Após a secagem e queima, os corpos-de-prova passaram por ensaios tecnológicos normalizados e procedimentos laboratoriais. São eles: análise visual, perda ao fogo, absorção de água, porosidade aparente, resistência mecânica (flexão a 3 pontos), retração linear e perda de massa.

3.5.6.1. Análise Visual

A análise visual dos corpos de prova foi realizada devido à constatação de que eles tinham características visuais distintas após a secagem e após a sinterização. Essas características ocorrem em função do tipo de escória, teor de adição de escória e temperatura de sinterização.

Essa análise visual foi realizada com o uso de máquina digital do Laboratório de Materiais de Construção (LMC)/UNISINOS / RS.

3.5.6.2. Perda ao Fogo

O ensaio de perda ao fogo foi realizado mediante uma adaptação da norma ABIFA CEMP-120 (março, 2003). Foi utilizado o forno do laboratório de Fundição da UNISINOS, aonde foram colocados três corpos de prova com mesma massa (mesma amostra) em um cadinho de aço inox 310, sem tampa, depois o procedimento foi igual à norma.

3.5.6.3. Absorção de Água e Porosidade Aparente

Na realização dos ensaios de absorção de água e porosidade aparente foi considerado a mesma massa da amostra seca (P_s), a massa da amostra úmida (P_u) e a massa da amostra imersa (P_i). Para garantir o fechamento dos poros do corpo de prova imerso e úmido é necessário que ele tenha sido imergido em água por um mínimo de 24 horas. Na realização da massa imersa, utilizou-se o Princípio de Arquimedes, de deslocamento de um fluido por um corpo imerso.

A equação 1 refere-se ao método de Arquimedes para o cálculo da porosidade aparente.

$$P_{ap} = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} \times 100 \quad (1)$$

Para o cálculo da absorção de água foi utilizada a equação 2.

$$AA = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (2)$$

Para a pesagem dos corpos-prova secos e saturados e imersos foi utilizada balança eletrônica de precisão, com sensibilidade de 0,1g e tempo de estabilização de 3s (modelo AM 5500, Marte Balanças e Aparelhos de Precisão Ltda) do Laboratório de Materiais de Construção/UNISINOS.

3.5.6.4. Resistência Mecânica à Flexão a 3 Pontos

A resistência mecânica dos corpos de prova foi realizada através da determinação da resistência mecânica à flexão a três pontos, segundo a norma NBR 15270-1 (ABNT, 2001).

Para o cálculo foi utilizada a equação 3, abaixo:

$$\sigma = \frac{3}{2} \times \frac{P \times (L-l)}{b \times d^2} \quad (3)$$

onde:

σ = tensão máxima de ruptura (MPa);

P = carga máxima aplicada (N);

b = base do corpo-de-prova (mm);

d = altura do corpo-de-prova (mm);

l = distância entre os apoios superior (mm);

L = distância entre os apoios inferior (mm).

O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi a máquina universal de ensaio, modelo DL 2000, classe I (EMIC * Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda), do Laboratório de Materiais de construção da UNISINOS.

3.5.6.5. Retração Linear

Para a determinação da retração linear foi necessária a medição do comprimento do corpo-de-prova após a secagem em estufa e após a queima nas duas temperaturas. A medição dos corpos-de-prova foi realizada em paquímetro digital (Mitutoyo) com capacidade de medição de 150mm.

As Equações abaixo foram utilizadas para esse cálculo:

$$RLs = \frac{Lv - Ls}{Ls} \times 100 \quad (4)$$

$$RLq = \frac{Ls - Lq}{Ls} \times 100 \quad (5)$$

onde:

RLs = retração linear de secagem (%);

RLq = retração linear de queima (%);

Lv = comprimento após a conformação (mm);

Ls = comprimento após a secagem em estufa (mm);

Lq = comprimento após a queima (mm).

3.5.6.6. Perda de Massa

A perda de massa foi definida após a queima e verificada através da equação abaixo.

$$P_m = \frac{m_s - m_q}{m_s} \times 100 \quad (6)$$

onde:

Pm = perda de massa (%);

ms = massa do corpo-de-prova após a secagem (g);

m_q = massa do corpo-de-prova após a queima (g).

A pesagem dos corpos-prova após a secagem e queima foi realizada em balança eletrônica de precisão com capela de acrílico, com sensibilidade de 0,001g e tempo de estabilização de 2s, modelo MARK 500 (Bel Engineering S.r.l.).

3.5.6.7. Análise Térmica

Os métodos de análises térmicas utilizados nos corpos-de-prova foram a Termogravimetria (TG), Análise Térmica Diferencial (ATD).

A análise térmica diferencial (ATD) consiste em determinar a variação de temperatura entre a argila e uma substância de referência em um ciclo de aquecimento controlado. Através dos picos endotérmicos e exotérmicos obtidos pode-se identificar a parte qualitativa das substâncias. A termogravimetria (TG) é complementar a ATD (Kazmierczak, 2007).

A preparação das amostras para AT e ATD consistiu na moagem dos corpos-de-prova com martelo até obtenção de granulometria passante em peneira 200 μm . Foram utilizadas amostras com 20g (exigência do aparelho).

3.5.6.8. Análise Microestrutural

Os corpos de prova foram observados com lupa petrográfica, com o intuito de verificar o comportamento das escórias no material cerâmico. Foi empregada lupa petrográfica Leica Microsystems, modelo MS 5, com câmara para captura de imagem JVC TK C720U, no Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS. As imagens foram analisadas com o *software* KS 100 Zeiss.

Os corpos de prova do traço de referência e do Traço 15% (escória de 1 Dia e de 45 Dias), queimados a 850°C, foram analisados no microscópio eletrônico de varredura. O objetivo foi confirmar a presença de compostos de cálcio que indicassem a presença de cal livre ou seus produtos de reação (Graffitti, 2002), nos corpos de prova cerâmicos da amostra de 1 Dia e 45 Dias e a relação com a matriz cerâmica. Foi realizado também um mapeamento (varredura por EDS) para visualizar o elemento cálcio na amostra.

A preparação da amostra para o MEV seguiu da seguinte forma:

- corte dos CP's em serra de precisão microprocessada, modelo Isomet 1000 (Buehler Ltd), usando álcool isopropílico, para não haver ataque da escória (Zetterman, 2001);
- lixamento a seco (Zettermann, 2001) com lixa d' água (grãos 600 e 1200);
- polimento com pasta de diamante em politriz Pantec, modelo POLIPAN 2, usando álcool isopropílico, para evitar o ataque da escória.

Nesse capítulo, foram definidos os métodos de caracterização do resíduo e da matéria-prima. A partir disso, pode-se organizar o programa experimental, aonde foi formulado os traços (referência, D1 e D45), programada a conformação, a secagem e a sinterização dos corpos-de-prova, bem como os ensaios e análises a serem realizados nos CP.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à segregação dos resíduos na aciaria da empresa, houve uma significativa melhora durante o período do estudo. Essa evolução foi melhor visualizada mediante amostragens em dois momentos: resíduos não segregados e segregados, apesar de contaminantes menores continuarem presentes após a segregação, como mostrado no capítulo 3. Esses contaminantes na maioria são constituintes do próprio processo de geração da escória, como por exemplo, as partículas de aço, que ficam aderidas à escória. De modo geral as escórias de forno panela foram segregadas o suficiente para serem recicladas.

A segregação mostrou-se ser uma etapa fundamental para a caracterização e viabilização do programa experimental, em que a escória de forno panela foi adicionada à argila para produção de cerâmica vermelha.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESCÓRIAS

4.1.1. Química

A caracterização química compreende as análises por fluorescência de raios-x e a análise térmica.

4.1.1.1. Fluorescência de Raios-X

As análises por fluorescência de raios-x quantitativa, das escórias como recebidas mostram o resultado em óxidos mais estáveis, fechando quase 100% da amostra. Os resultados foram transformados de óxidos para a forma elementar, por ser mais coerente já que muitos elementos não se apresentam na forma de óxido mais estáveis na escória e, assim facilitar a interpretação e relação com outras análises, como por exemplo a separação magnética e a difração de raios-x.

A análise mostra que na escória D1 os elementos atingem 68,95% do

total da amostra e na escória D45 atinge 50,47% da amostra. O restante que falta para 100% é essencialmente o elemento oxigênio (Tabela 4.1).

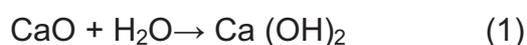
As principais diferenças entre os elementos das amostras D1 e D45 estão no Fe (13,11 e 19,20 %, respectivamente), no Al (6,28 e 4,16 %) e no Ca (21,35 e 19,32 %).

Tabela 4.1 – Resultados elementares das escórias D1 e D45 (% massa).

Elemento (%)	D1	D45
Si	14,90	13,85
Ca	21,35	19,4
Fe	13,11	19,20
Mg	9,56	10,01
Al	6,28	4,16
Mn	1,70	1,70
Cr	0,95	0,59
P	0,07	0,09
S	0,29	0,37
Ti	0,19	0,17
Na	0,30	0,11
K	0,20	0,08
V	0,054	0,05
Total elementar	68,95	50,47

Quanto ao Ca, é possível que tenha sido lixiviado da escória D45. Lixiviação do Ca na forma de CaO em condições semelhantes foi verificada através da formação de tufa por Graffitti (2002). Durante a amostragem observou-se regiões brancas da base da pilha.

A formação de tufa (Equação 1) é um potencial das escórias de aciaria.



O Fe está em maior quantidade (~6%) na amostra da escória D45, provavelmente devido a um beneficiamento menos eficiente nesta escória.

Uma análise química por fluorescência de raios-x qualitativa das duas escórias com granulometria $\leq 0,59\text{mm}$ (granulometria da adição) foi realizada e constatou-se de acordo com os resultados obtidos que os elementos presentes são os mesmos identificados na análise anterior (Fig.4.1).

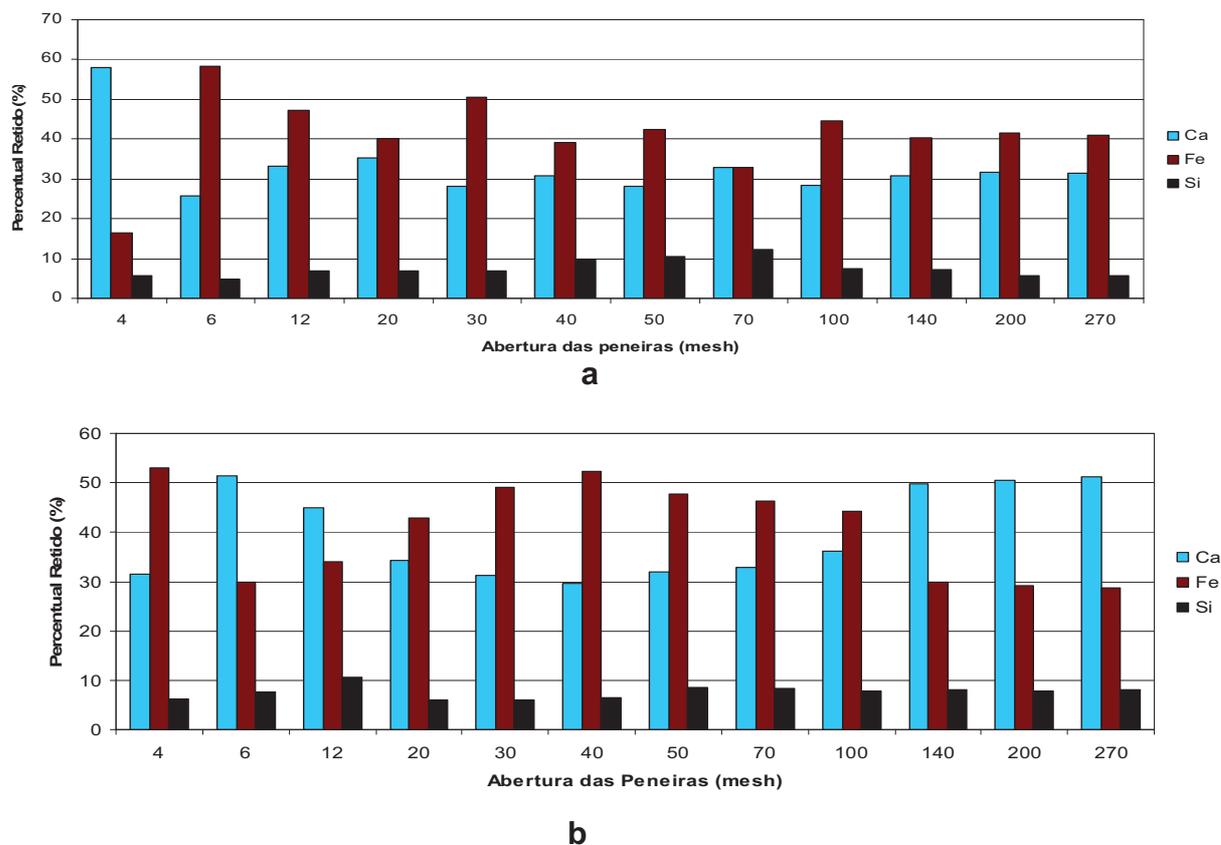


Figura 4.1 - Análise por fluorescência de raios-x dos elementos principais da escória: **(a)** Escória D1 e **(b)** Escória D45.

4.1.1.2. Análise Térmica

As análises térmicas diferenciais foram realizadas para as duas escórias e permitem identificar compostos de cálcio entre outros (Anexo 3).

Na análise da escória D1, ocorrem picos endotérmicos entre 99°C e 212°C, atribuídos a perda de água da amostra. O único pico exotérmico da análise acontece em 865°C e representa possivelmente a descarbonatação do CaCO_3 , também verificada por Gumieri (2002) e Graffitti (2002).

Na escória D45, a análise térmica diferencial identificou picos endotérmicos em 96°C e em 210°C, relacionados com a perda de água da amostra (Gumieri, 2002). Os picos exotérmicos acontecem em 128°C que pode estar ligada à presença de algum contaminante na escória, em 865°C, representando provavelmente a descarbonatação do CaCO_3 (Gumieri, 2002;

Graffitti, 2002).

Graffitti (2002) realizou análise térmica diferencial e termogravimétrica para os compostos de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ e CaCO_3) puros e verificou que os picos exotérmicos destes compostos coincidiram com os picos na escória de aciaria elétrica estudada, com pequenas variações de temperatura. Essas variações de temperatura foram atribuídas por esses compostos de cálcio não se apresentarem puros na escória.

A partir da análise termogravimétrica visualizou-se a perda de massa, obtidas para as escórias D1 e D45 (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Perda de massa escórias D1 e D45.

Escória	Temperatura (°C)	Perda de Massa (%)	Perda de massa
D1	153	3,64	8,55
	786	3,90	
D45	139	4,56	6,04
	709	1,56	

A perda de massa total foi maior na Escória D1, provavelmente devido a a esta ter sido beneficiada mais recentemente.

4.1.2. Física

A caracterização física das escórias foi desenvolvida mediante os ensaios de umidade, massa específica, granulometria, separação magnética e perda ao fogo (Fig. 4.2)



Figura 4.2 - Fluxograma da caracterização física.

4.1.2.1. Umidade

A umidade determinada para as escórias, como recebida, está na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Umidade das escórias.

Escórias	Umidade (% massa)
D1	7,34
D45	3,93

As escórias estavam com umidades diferentes. A escória D1 apresenta-se duas vezes mais umidade, provavelmente devido a ter sido recentemente beneficiada, aonde são molhadas. Os resultados de perda de massa na análise termogravimétrica também foram maior na escória D1. Este resultado foi somente para evidenciar que a escória está molhada em função do beneficiamento, não serviu de parâmetro para sua utilização em cerâmica.

4.1.2.2. Massa Específica

A massa específica das escórias (D1 e D45) está na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Massa especifica de escórias.

Escórias	γ (g/cm³)	Autores
D1	2,82	
D45	3,05	
Argila	2,63	
Aciaria Elétrica	3,47 (antes de resfriamento)	Masuero, 2001
	2,91 (após resfriamento)	
Granulada de Fundição	2,839	Reschke, 2003
Aciaria elétrica	3,12	Geyer, 2001
Granulada de Fundição	2,769 (não beneficiada)	Ceccatto, 2000
	2,830 (beneficiada)	

A massa específica foi diferente para as duas escórias, entretanto essa diferença não foi considerada relevante.

A massa específica das escórias variam de acordo com o processo de geração. Para a escória de aciaria elétrica, Masuero (2001) encontrou duas massas específicas para a mesma escória, uma maior para a escória antes de resfriamento brusco e a menor após o resfriamento brusco, devido a separação da fase metálica. Ceccatto (2000) verificou a massa específica em escória granulada de fundição não beneficiada e beneficiada, e obteve resultados distintos.

Geyer (2001) estudou uma escória de aciaria elétrica com massa específica de $3,12 \text{ g/cm}^3$. A escória granulada de fundição, estudada por Reschke (2003) tinha massa específica de $2,839 \text{ g/cm}^3$.

Quando comparada com a massa específica de outras escórias, a escória de forno panela, apresentou resultado similar as escórias estudadas. A escória com valor mais distante foi a de Masuero (2001), antes do resfriamento. Isso ocorre porque as amostras D1 e D45 já foram resfriadas, durante o beneficiamento.

4.1.2.3. Granulometria

A análise granulométrica das escórias D1 e D45 (Fig. 4.3) foram realizadas segundo a norma NBR/NM 248 (ABNT, 2001). É importante ressaltar que essa análise foi realizada após a separação visual (segregação) dos contaminantes maiores encontrados nas escórias. Algumas partículas menores, como metálicas não foram separadas.

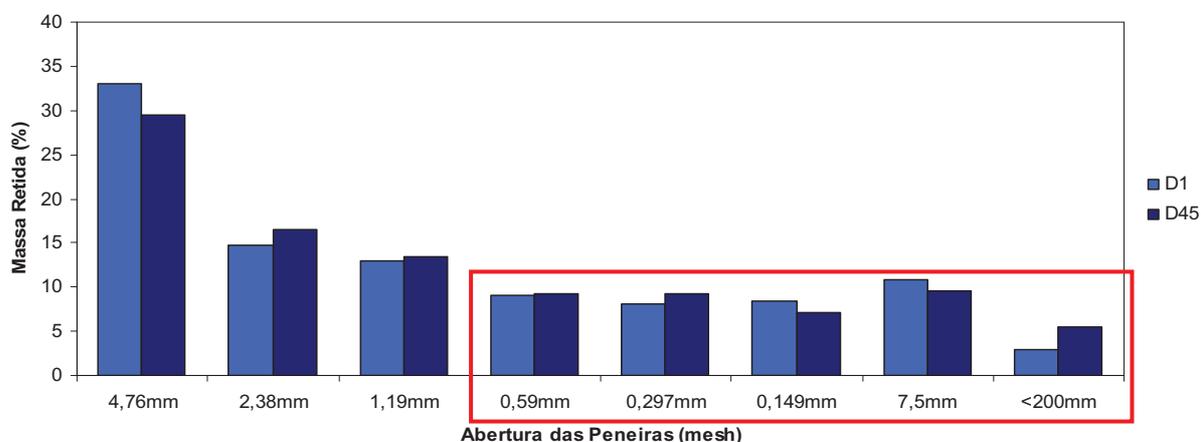


Figura 4.3 - Distribuição granulométrica das escórias D1e D45.

Nota-se que houve um predomínio da fração mais grossa (retida na peneira 4) sobre as outras frações, para as duas escórias D1 e D45. Entretanto, não foi significativa entre elas, a escória D1 teve um percentual de massa retida de 33%, e a D45 teve 29,5%.

Para a fração a ser adicionada ao material cerâmico ($\leq 30 \#$ ou 0,59mm) as duas escórias também não apresentaram variação relevante. A escória D1 da peneira 30 # (0,59mm) até o fundo soma 39,3% de massa retida e a escória D45 soma 40,6%.

A análise granulométrica mostra que a escória D45 tem 1,3 % mais quantidade de fração fina em massa retida que a escória D1, provavelmente devido ao seu maior tempo de estocagem. O tempo de estocagem pode ter influenciado na característica expansiva da escória, devido aos compostos expansivos existentes (cálcio e magnésio), conforme verificado por Graffitti (2002).

A adição da escória ao material cerâmico foi na granulometria $\leq 30 \#$ de acordo com essa análise granulométrica e também baseado em estudo com escória de aço inoxidável adicionada ao material cerâmico, onde verificou-se que os melhores resultados foram com a escória considerada fina, isto é, passante na peneira 70# (Vilela *et al.*, 2004).

4.1.2.4. Separação Magnética

A separação magnética manual obteve-se a partir de uma seguinte análise granulométrica conforme a norma CEMP-81 (ABIFA, 2003) (Fig. 4.4).

Pela análise da Fig. 4.3 percebe-se que o material que na escória D45, o maior percentual está retido na peneira de abertura 600 μ m e 300 μ m, representando cerca de 80% do total da amostra. Na escória D1 o maior percentual retido está na peneira de 1,19mm e 600 μ m, cerca de 50% da amostra. O que ocorre é que para ambas as escórias na peneira de 600 μ m concentram o maior percentual de metal retido.

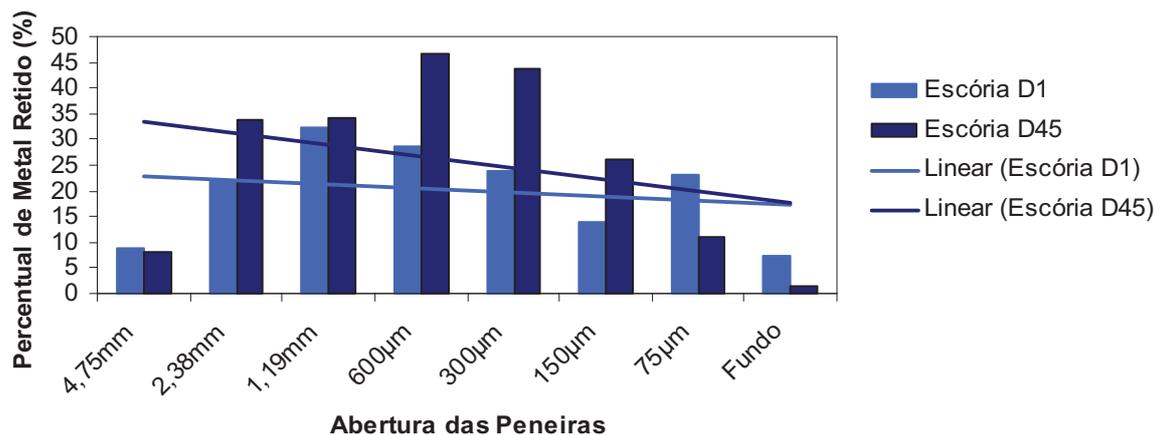


Figura 4.4 - Distribuição granulométrica do metal nas Escórias D1 e D45.

A partir da distribuição granulométrica verifica-se que a fração metálica está distribuída entre as peneiras 2,38mm e 75µm. Segundo as linhas de tendência nota-se que ambas as escórias tendem a diminuir o percentual de metal retido com a diminuição da abertura de peneira.

Observa-se também que a escória D45 possui mais quantidade de metal em percentual retido que a D1, provavelmente devido a uma separação magnética menos eficiente durante seu beneficiamento na empresa responsável. Esse resultado está de acordo com a análise química, onde a escória D45 possui quase 6% mais de Fe que a D1.

Segundo as linhas de tendência nota-se que ambas escórias tendem a diminuir o percentual de metal retido com a diminuição da abertura de peneira.

4.1.2.5. Perda ao Fogo

A análise de perda ao fogo teve uma variação significativa entre as duas escórias D1 e D45 e também em relação a escórias já estudadas por outros autores (Tabela 4.5).

A perda ao fogo da escória D45 foi bem menor que a D1. Ceccatto (2001) e Polessini (2005) também obtiveram uma perda ao fogo pequena. A tendência da escória D45 apresentar menor perda ao fogo também está

representada na análise térmica.

Tabela 4.5 – Perda ao Fogo das Escórias.

Escória	Perda ao Fogo (% peso)	Autores
D1	3,10	
D45	0,90	
Aciaria	4,76	Geyer, 2001
Granulada de Fundição	0,82	Ceccatto, 2001
Aciaria LD	Entre -0,80 e 6,40	Gumieri, 2002
Alto Forno	0,33	Polessini, 2005
Ferro-Cromo	0,41	Silva Filho, 2001

4.1.3. Mineralógica

4.1.3.1. Difração de Raios-X

Os difratogramas das Escórias D1 e D45 apresentaram compostos expansivos (óxidos de cálcio, magnésio) como o esperado para amostras de escórias (Tabela 4.6), devido a esses elementos fazerem parte da sua composição, conforme verificado por Zettermann (2001) e Graffitti (2002). Os picos das escórias D1 e D45, geralmente ocorrem sobrepostos, conforme verificado por Zettermann (2001) em escórias de aço inoxidável.

Tabela 4.6 – Compostos das escórias.

Compostos	D1	D45
Óxido de Magnésio	X	X
Óxido de Cálcio	X	X
Óxido de Ferro	X	X
Espinélio		X
Wusttia	X	
Magnetita	X	

Magnesioferrita	X	
Calcita	X	
Gelenita		X
Silciato de Cálcio		X
Diopsídio	X	

O difratograma da escória D1 (Fig. 4.5) apresentou compostos expansivos (periclásio - óxido de magnésio, óxido de cálcio) e ferro em 4 compostos (wustita, magnetita, mangesioferrita e óxido de ferro).

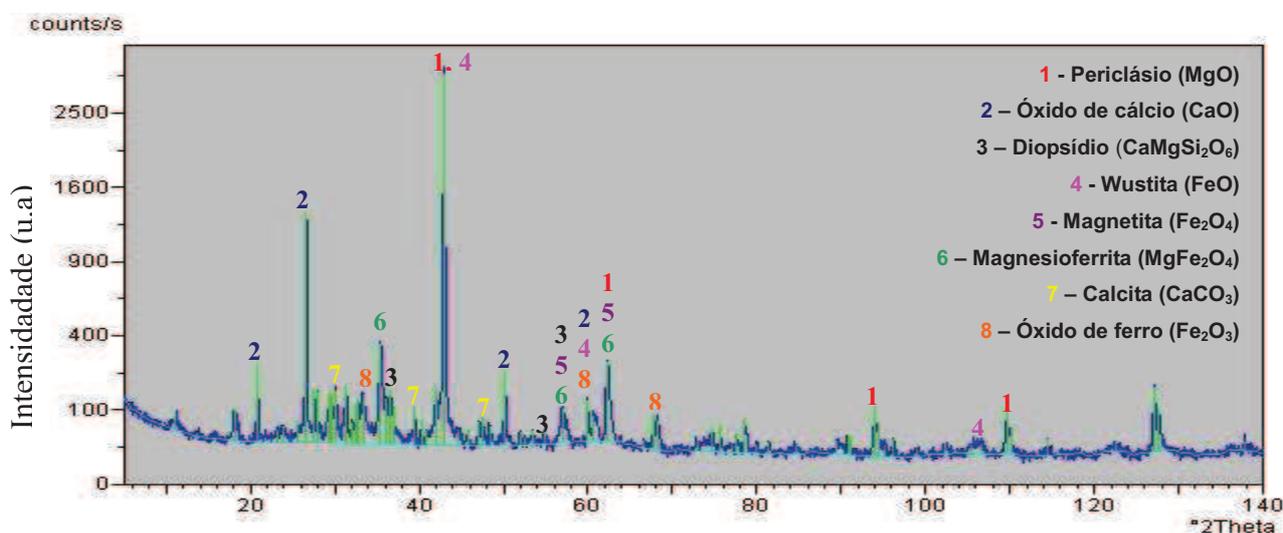


Figura 4.5 - Difratograma da Escória D1.

O difratograma da escória D45 (Fig. 4.6) também apresentou compostos expansivos como o óxido de cálcio e magnésio livres, periclásio, gelenita, espinélio e óxido de ferro.

O elemento cálcio na escória D1 está presente em 3 compostos: óxido de cálcio, diopsídio e calcita; na D45 aparece também em 3: óxido de cálcio, gelenita e silicato de cálcio.

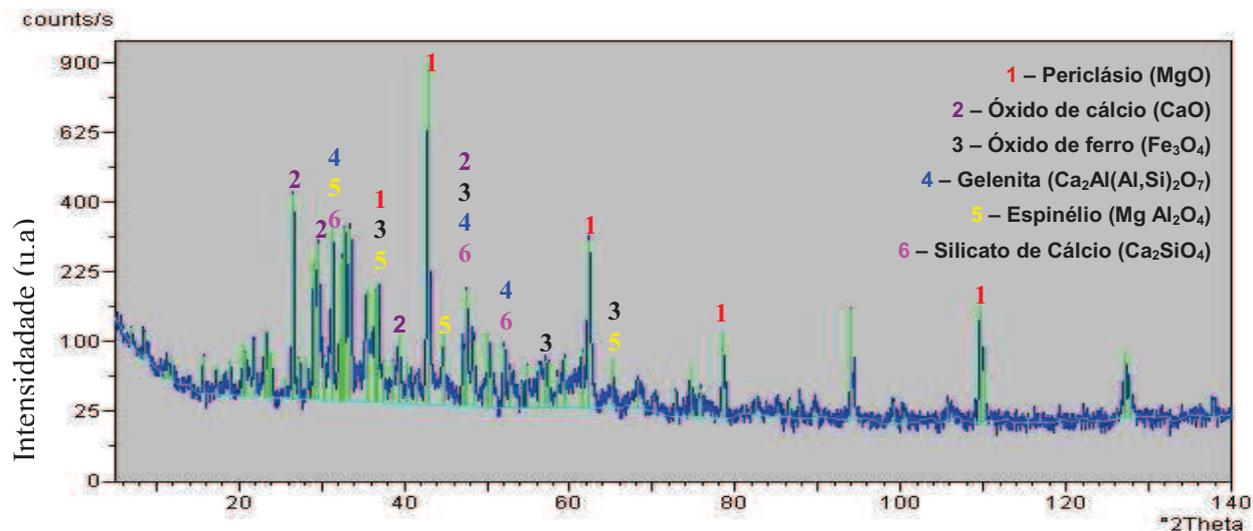


Figura 4.6 - Difratograma da Escória D45.

Nota-se pelos difratogramas das duas escórias que ambos apresentam compostos expansivos na mesma quantidade.

Zettermann (2001) verificou em seus difratogramas espinélio, silicato de cálcio, e periclásio. Graffitti (2002) em sua pesquisa com escória de aciaria verificou nos seus difratogramas periclásio, wustita, gelenita, quartzo, cal e magnetita. Masuero (2001), ao estudar a escória de aciaria elétrica, obteve em seus difratogramas wustita, gelenita, magnésio ferrita e óxido de cálcio. Deve-se salientar que todos estes trabalhos estudaram escória gerada no forno elétrico a arco, sendo que a primeira autora estudou escória da produção de aço inox, e as outras duas estudaram escória de aço ao carbono.

O detalhamento da variação destes elementos será discutido a partir das outras análises complementares.

4.1.4. Microestrutural

4.1.4.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A partir da análise das escórias na microscopia eletrônica de varredura pretende-se confirmar a presença de fases cristalinas apontadas pela difração de raios-x e os compostos expansivos, verificados através de análise térmica .

Nota-se nas micrografias da Fig. 4.7, a ocorrência de grãos arredondados (a e c), provavelmente em decorrência de ser uma escória beneficiada (na empresa) já moída (para a adição ao cerâmico) e em menor quantidade grãos esféricos. A micrografia b possui um grão esférico, provavelmente fase metálica. A micrografia d apresenta dois grãos em formato hexagonal.

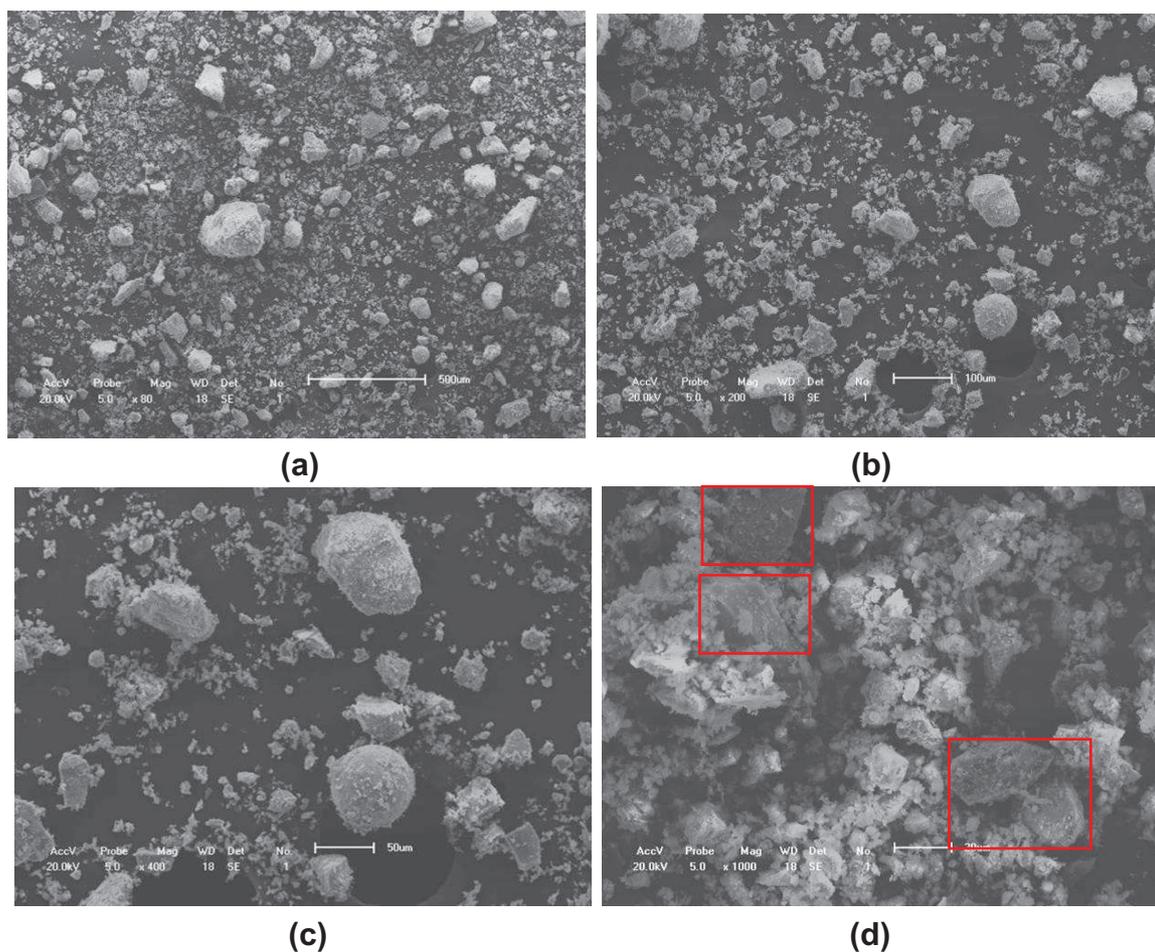
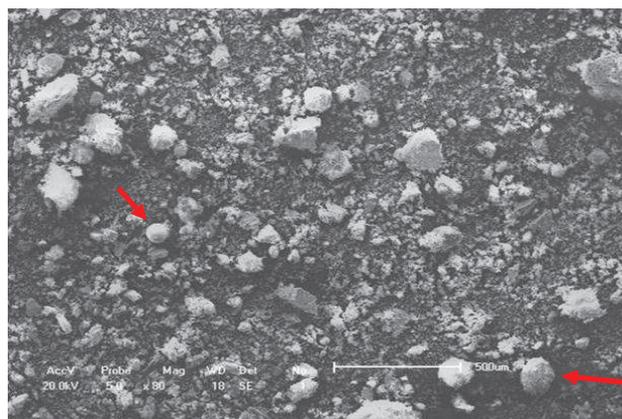
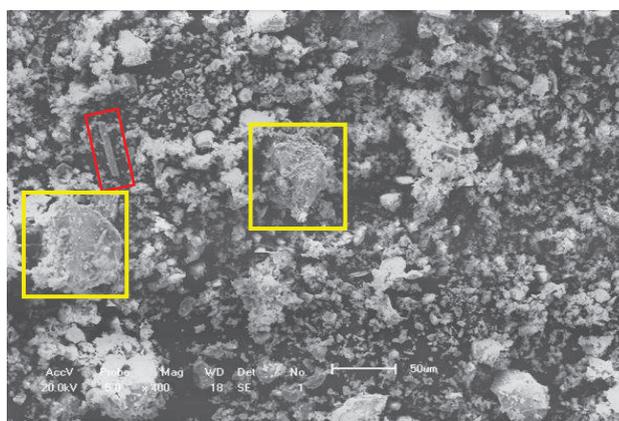


Figura 4.7 - Micrografia da Escória D1 - (a) 500 μm (b) 100 μm (c) 50 μm e (d) 20 μm . **(b)** Grão esférico (vermelho); **(d)** Grãos angulosos (vermelho).

Na Fig. 4.8, pode-se notar nas micrografias da escória D45 que os grãos possuem aparência relativamente menor que os da escória D1, conforme visto na análise granulométrica, provavelmente devido à desintegração dos grãos ocorridos na escória com maior tempo de estocagem.



(a)



(b)

Figura 4.8 - Micrografia da escória D45: (a) 500 μm .

(b) 50 μm .

Na micrografia **a** (Fig. 4.8), pode-se observar grãos esféricos, representativos da fase metálica. Confirmando as análises de difração de raios-x (Figura 4.4 - wustita), lupa (item 4.2.2.8) e através de análise visual dos corpos de prova confeccionados com essa escória (item 4.2.2.1). Zettermann (2001) e Graffitti (2002) verificaram em suas pesquisas com escórias de aço inoxidável e aciaria elétrica, respectivamente, a presença de fase metálica.

A micrografia **b** da Fig. 4.8, apresenta um grão em forma de palito (vermelho), que pode ser etringita (tri sulfo-aluminato de cálcio hidratado) e grãos maiores (amarelo), diferentes do restante, podendo ser compostos de cálcio. Polese *et al.* (2006) caracterizaram micro estruturalmente a escória de aciaria LD e FEA, por análise química, difração de raios-x e microscopia

eletrônica de varredura por EDS e verificaram que essas escórias apresentam compostos de cálcio do tipo: etringita, portlandita, gesso.

Nas micrografias da Figura 4.9, de acordo com Polese *et al.*, 2006, estão representados compostos de cálcio formados em escórias de aciaria. Na micrografia **a**, etringita, nas micrografias **b** e **c** o mineral portlandita - $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

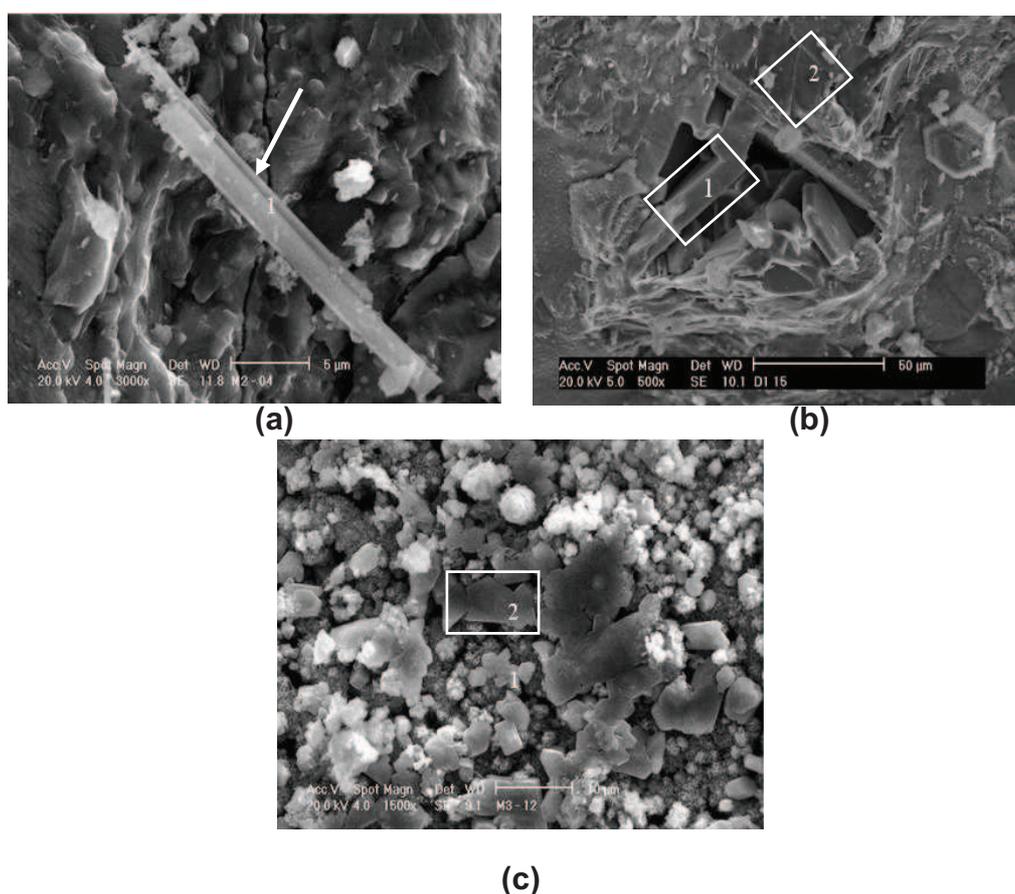


Figura 4.9 – Micrografias de escória de aciaria. **(a)** etringita, 5µm **(b)** portlandita, 50µm; **(c)** portlandita, 10 µm (Segundo Polese *et al.*, 2006).

4.1.5. Ambiental

A caracterização ambiental foi realizada pelos ensaios de lixiviação e Solubilização (Anexo 2).

4.1.5.1. Ensaio de Lixiviação

Para o elemento Hg, o resultado < 5,0 mg/L, entretanto pelo NBR 10004,

o aceitável é 0,1mg/l. O limite de detecção do ensaio é de 5 a 10 mg/l, portanto não se tem como afirmar se ele está dentro do limite ou foi o ensaio que não detectou. O ideal seria a realização da análise do extrato lixiviado por outra técnica analítica com maior sensibilidade. Considerando que as escórias de aciaria não possuem esse elemento na sua composição (vide análise química via fluorescência de raios-x – tabela 4.1), acredita-se que esse elemento não poderia estar no lixiviado.

A concentração dos elementos analisados no extrato lixiviado para as escórias D1 e D45, ficaram abaixo dos limites de concentração da NBR 10004.

4.1.5.2. Ensaio de Solubilização

As escórias D1 e D45 mediante os ensaios de solubilização, para os elementos: As, Cd, Ag, Se, Pb e Al os valores ficaram abaixo do limite de detecção do método utilizado, por isso não se tem como afirmar se eles estão dentro do limite aceitável pela norma ou foi o método que não detectou. O ideal seria a realização de outros métodos para estes elementos.

A concentração do Cr elemento analisado no extrato solubilizado das escórias D1 e D45 ficou acima do limite de concentração da NBR 10004 para o elemento.

De acordo com os resultados, as escórias de 1 Dia e de 45 Dias são consideradas resíduo não perigoso e não-inerte (Classe II A), de acordo com a NBR 10004. Conforme já foi determinado por Silva Filho (2001), no estudo de escória ferro-cromo, Rosa (2001) no estudo com escória de aço inoxidável e Geyer (2001), para escória de aciaria.

4.1.6. Sobre a Caracterização das Escórias

A caracterização visual, química, física, mineralógica, micro estrutural e ambiental das escórias foram importantes, não somente como etapa prévia de reciclagem, mas também para um melhor conhecimento sobre o material a ser utilizado. Além disso, a caracterização detectou alguns contaminantes na escória que não foram segregados.

Com a caracterização química e física da escória comprovou-se que o beneficiamento realizado pela empresa prestadora de serviços teve eficiência diferente em cada escória estudada, sendo a D1 melhor beneficiada. Isso se tornou claro mediante as análises químicas, onde houve uma maior quantidade do elemento Fe (~6%) na escória D45 e também pela separação magnética que indicou que a escória D45 tem mais metal.

Na caracterização física também se evidenciou que o tempo de estocagem pode ter influenciado a maior desintegração da escória D45 (cerca de 1,3 % a mais de fração fina), enquanto a D1 apresentou predomínio da fração mais grossa sobre as outras frações.

4.2. ADIÇÃO DE ESCÓRIA NO MATERIAL CERÂMICO

A confecção dos corpos cerâmicos com escória foi influenciada pelo tipo de escória usada e o teor de adição.

Todos os traços confeccionados tiveram a preocupação de determinar a quantidade de água ideal para a mistura (escória+argila) que garantisse uma moldagem com pasta plástica consistente, que é o padrão para confecção de blocos cerâmicos, de acordo com Verçosa (1994).

A determinação da quantidade de água foi realizada através de teste de consistência com a mão. Assim verificou-se que quanto maior o teor de adição de escória menor a quantidade de água necessária na mistura. Essa característica também foi observada por Brehm *et al* (2008), ao adicionar em material cerâmico lodo de fosfatização.

O Traço-D1 com 5% de adição apresentou uma dificuldade inicial para se misturar à argila e o Traço-D45 com 10% foi o mais fácil de misturar e rápido de moldar que todos os outros.

A adição de escória no material cerâmico foi avaliada mediante ensaios tecnológicos. Esses ensaios foram realizados em duas etapas: após a secagem e após a sinterização.

Os ensaios nos corpos de prova cerâmicos após a secagem sofreram influência direta do tipo de escória (D1 e D45) e teor de adição, pois a

temperatura de secagem foi igual para as duas e constante, não exercendo influência. Nos corpos de prova após a sinterização, a influência nas características se deve ao tipo de escória, teor de adição e temperaturas de sinterização.

Os gráficos gerados, a partir dos resultados dos ensaios, foram feitos com a média dos corpos de prova (variável para cada ensaio) e desvio padrão máximo e mínimo, mostrado através de uma barra de erros.

4.2.1. Ensaio Após a Secagem

Nessa etapa os corpos de prova cerâmicos passaram pelos ensaios de retração linear e resistência mecânica na flexão (Fig. 4.10).

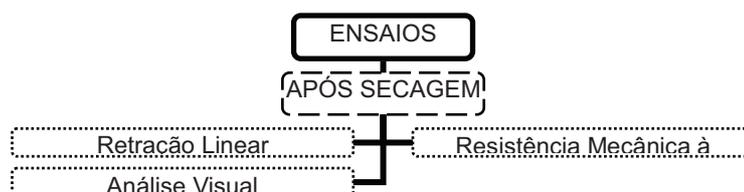


Figura 4.10- Fluxograma dos ensaios realizados na etapa após a secagem.

4.2.1.1. Análise Visual

O aspecto visual dos corpos-de-prova do Traço-D1 após a secagem na estufa (Fig. 4.11) apresentam coloração alaranjada semelhante nos corpos de prova com resíduo e sem resíduo.



Figura 4.11 – Corpos de prova após a secagem.

Foram verificadas pontuações brancas apenas do Traço-D1 (Fig. 4.12), enquanto as pontuações escuras aparecem em ambos os Traços.

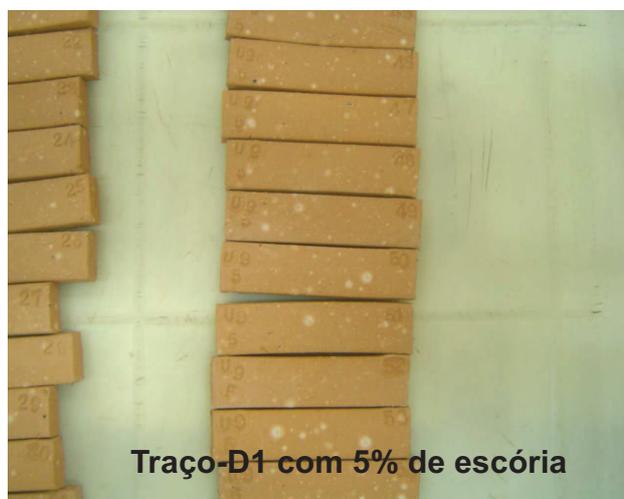


Figura 4.12 – Corpos de prova após a secagem.

4.2.1.2. Retração Linear de Secagem (RLs)

No ensaio de retração linear de secagem foram analisadas 50 medidas de corpos de prova para cada teor de adição. A retração linear de secagem deve estar entre 3% e 8% (Santos e Silva, 1995).

A retração linear dos corpos de prova do Traço-D1 está expressa no gráfico da Fig. 4.13 e do Traço-D45 na Fig. 4.14.

A variação de retração linear de secagem para o Traço-D1 ficou entre 4,9% a 6,93%, enquanto no Traço-D45 ficou entre 4,41% e 7,26%.

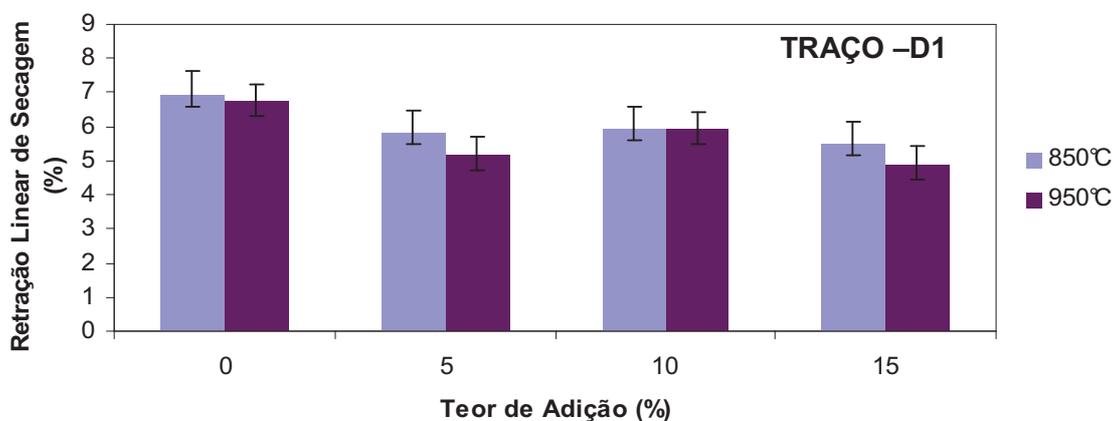


Figura 4.13- Retração linear dos corpos de prova D1.

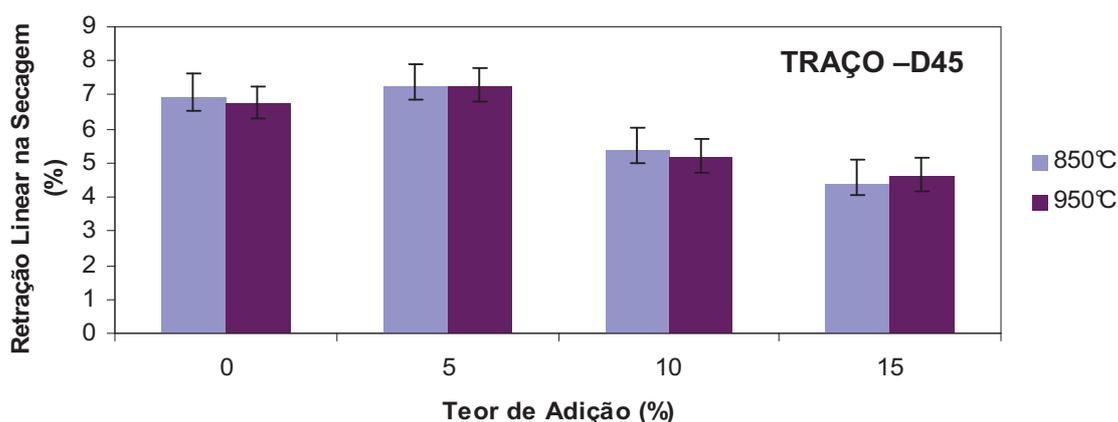


Figura 4.14- Retração linear dos corpos de prova D45.

Com o aumento da adição da escória houve uma redução da retração linear de secagem, nos corpos do D45, enquanto no D1 praticamente se manteve igual. Conforme também observado por Collatto (2008), utilizando lodo de ETE de indústria de papel, para quatro temperaturas testada.

Em relação aos corpos de prova Referência todos do D1 e D45 tiveram menor retração linear de secagem, com exceção do D45 com 5%.

Os Traços com adição de escória e o Traço Referência ficaram dentro do limite indicado para retração linear após a secagem.

4.2.1.3. Resistência Mecânica à Flexão a 3 Pontos

Para o ensaio de resistência mecânica foram analisadas 10 medidas de corpos de prova está representada no gráfico da Figuras 4.15 e do Traço-D45 na Fig. 4.16.

A tensão de ruptura mínima na secagem para a massa cerâmica deve ser de 2,5 MPa (Santos,1989).

Os corpos de prova do Traço-D1 tiveram uma resistência mecânica menor à medida que aumentou o teor de escória, exceto no 5% sinterizado a 850°C. Os corpos de prova do D45 ficaram dentro da referência para resistência mecânica na flexão a 3 pontos após a secagem

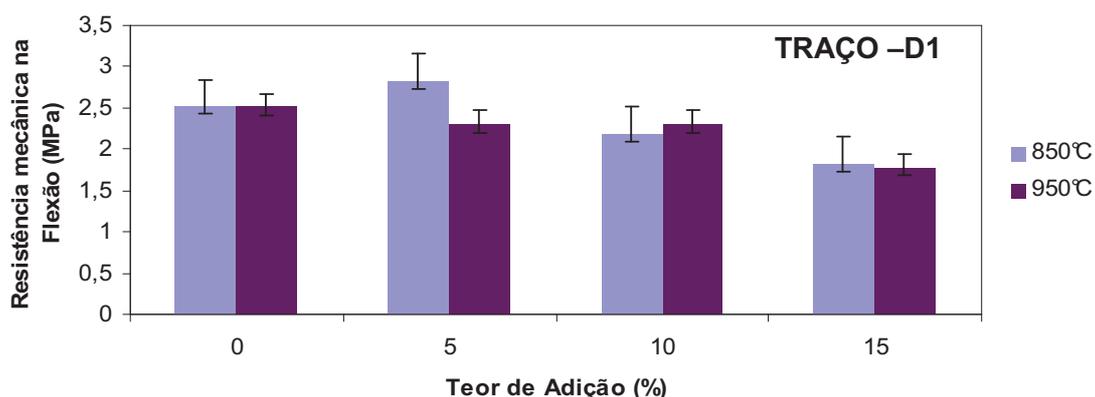


Figura 4.15 - Resistência mecânica dos corpos de prova D1.

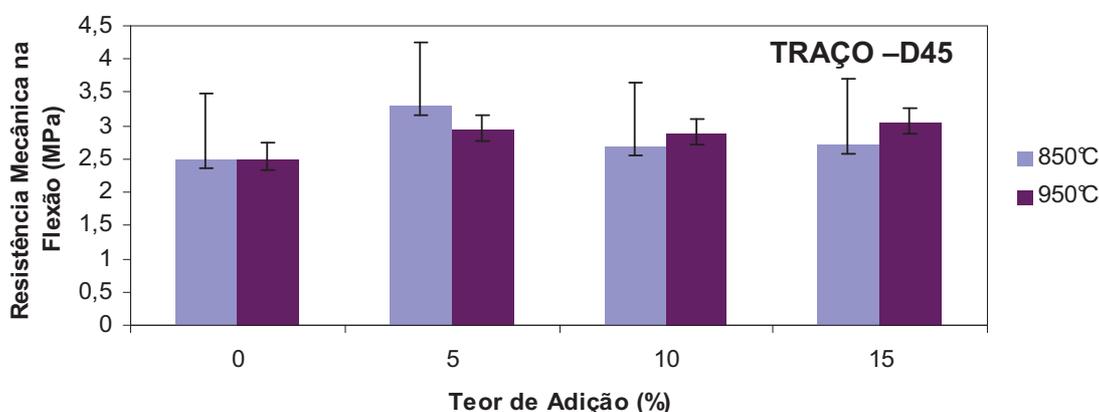


Figura 4.16 - Resistência mecânica dos corpos de prova D45.

4.2.2. Ensaio após a sinterização

Os corpos de prova cerâmicos após a sinterização passaram pelos seguintes ensaios: análise visual, perda ao fogo, retração linear, resistência à compressão na flexão a 4 pontos, absorção de água, análise térmica, lupa e microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Fig. 4.17).

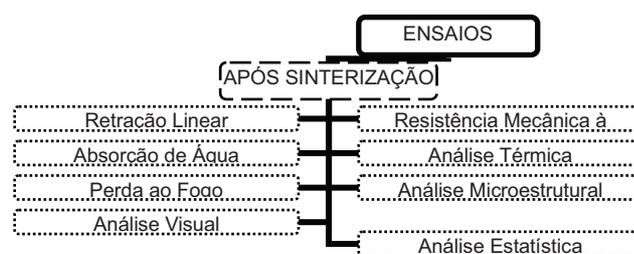


Figura 4.17- Ensaio realizado após a sinterização.

4.2.2.1. Análise Visual

Os corpos de prova do Traço Referência, D1 e D45 apresentaram-se com coloração alaranjada na sua maioria, sendo semelhante para as duas temperaturas testadas (Fig. 4.18).

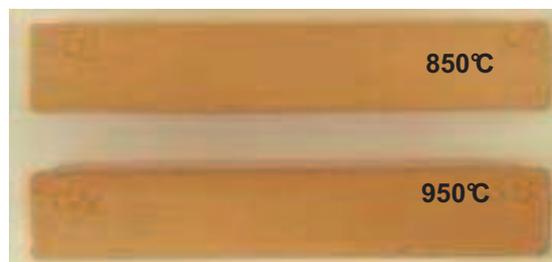


Figura 4.18 - Traço-Referência.

Em cerca de 50 corpos de prova foram observadas pontuações coloridas, no geral perfazendo menos que 15% da superfície dos corpos de prova. As pontuações predominam nos corpos do Traço-D1.

Os corpos de prova do Traço-D1 apresentaram pontuações brancas e escuras; sendo que as brancas são mais que o dobro das escuras.

Os corpos de prova do Traço-D45 apresentaram menor quantidade de pontuações brancas na superfície em relação ao Traço-D1, entretanto as pontuações escuras ocorreram em maior proporção que em D1.

Em ambos os Traços verificou-se que essas pontuações brancas são diretamente proporcionais ao teor de adição de escória e à temperatura de sinterização (Fig. 4.19).

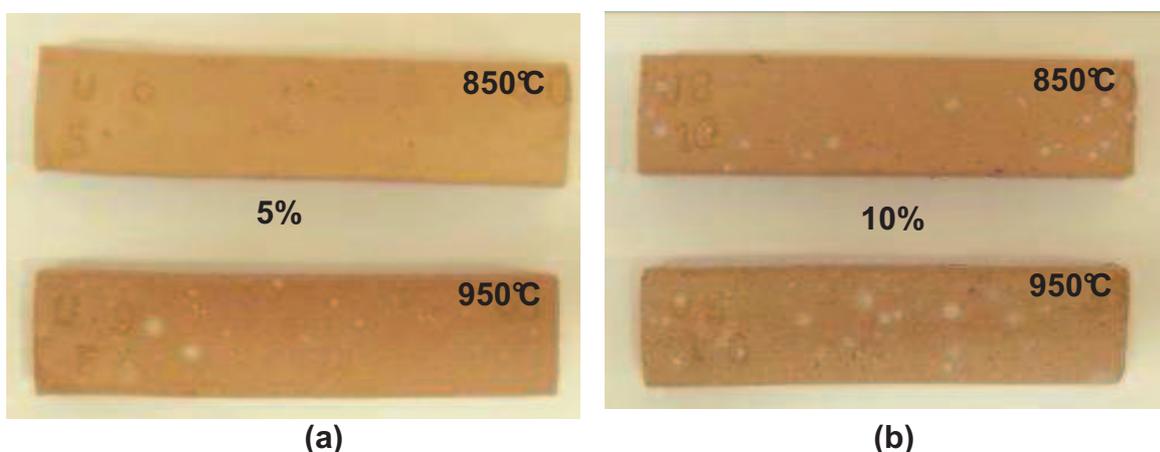
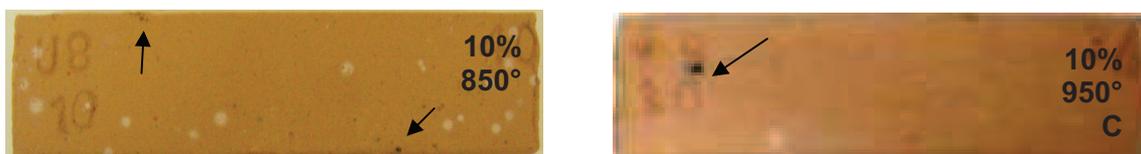


Figura 4.19 – Corpos de prova D1. (a) CP com 5% de adição e (b) CP com 10% de adição.

As pontuações brancas estão provavelmente relacionadas ao óxido de cálcio livre, enquanto as pontuações escuras provavelmente a óxidos de metais (Fig. 4.18). Em estudo com tijolos com adição de escória, Nishigaki (2000) verificou a presença de pontuações pretas na superfície, que foi atribuída a óxidos metálicos remanescentes da escória (Fig. 4.20).



(a) (b)
Figura 4.20 – Corpos de prova 10% de adição de escória. (a) CP D1 e
 (b) CP D45.

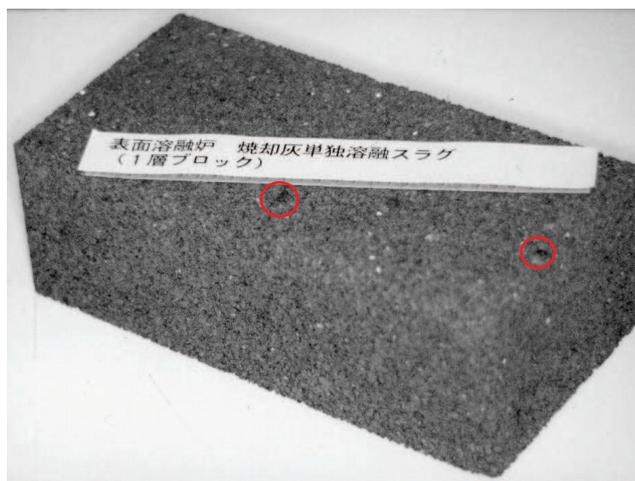


Figura 4.21 – Tijolo apresentando óxidos de metais na superfície (Segundo Nishigaki, 2000).

Os Corpos de prova do D1, sinterizados a 950°C apresentam duas vezes mais pontuações brancas que os sinterizados a 850°C (Fig. 4.22).

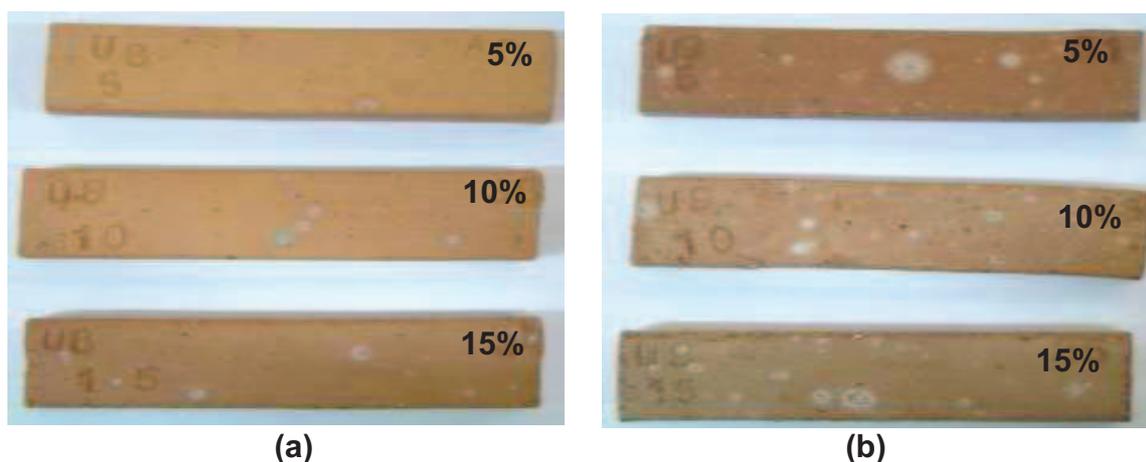


Figura 4.22 – Corpos de prova D1. (a) Sinterizados à 850°C e (b) Sinterizados à 950°C.

Em cerca de 5% dos corpos de prova foram observadas trincas nas superfícies, podendo ser planares (transversais) ou radiais, com até 1cm. As trincas radiais normalmente estão preenchidas.

Para verificar em detalhe as pontuações coloridas e as trincas das superfícies dos corpos de prova, foram selecionados 30 corpos de prova (CP) para análise em lupa (Item 4.2.2.8).

Ao analisar as fraturas dos corpos de prova do Traço-D1 com 15% de escória, utilizados nos ensaios de resistência mecânica, pode-se notar além das pontuações escuras, partículas muito pequenas brilhantes que provavelmente são aço (Fig. 4.23). Isso sugere que a análise visual da superfície dos corpos de prova pode não ser representativa da sua estrutura interna.



Figura 4.23 – Partículas de aço no interior dos corpos de prova.

Nos resultados das análises das escórias por difração de raios-x (Figuras 4.5 e 4.6), microscopia eletrônica de varredura (Fig. 4.7 – **b** e Fig. 4.8 - **a**) e na verificação dos CP em lupa (Item 4.2.2.8), foi também observado partículas de aço, assim como na análise visual.

4.2.2.2. Perda ao Fogo

A perda ao fogo dos Traços-D1 e D45 foram maiores em todos os teores de adição em relação ao Traço-Referência, com exceção do Traço – D45 com 10% e 15% (Tabela 4.7).

A perda ao fogo do Traço-D45 está coerente com a perda ao fogo da escória (D45 foi menor que a escória D1) apesar da diferença ser pequena (~1%).

Tabela 4.7 – Perda ao Fogo dos corpos-cerâmicos.

Traço	Perda ao Fogo (%)
Referência	4,14
D1 com 5%	4,38
D1 com 10%	4,25
D1 com 15%	4,28
D45 com 5%	4,30
D45 com 10%	4,08
D45 com 15%	3,84

A perda ao fogo dos corpos de prova contendo escória apresentaram valores próximos ao referência, o que significa que possuem quantidades equivalentes de materiais voláteis após a sinterização.

4.2.2.3. Retração Linear (RLq)

A retração linear de queima aceitável na sinterização é de até 8% (Paschoal, 2003). Para este ensaio de retração linear foram analisadas 30 medidas de corpos de prova que estão representadas nos gráficos das Fig. 4.24 (Traço-D1) e Fig. 4.25 (Traço-D45).

A variação de retração linear após a sinterização no Traço-D1 ficou entre 0,21% a 2,93%, enquanto no Traço-D45 ficou entre 0,21% e 2,83%.

A retração linear nos corpos de prova D1 e D45 aumentaram para a temperatura de 850°C. O mesmo não ocorre para a temperatura de 950°C onde há uma diminuição da retração com aumento do teor de adição no D1 (10 e 15%) e D45 (15%). Provavelmente isso está ocorrendo devido a densificação

dos corpos de prova, de acordo com estudo com adição de escória de aço inoxidável em material cerâmico (Vilela *et al.*, 1994).

Além disto, outro resíduo também apresentou densificação, como por exemplo, o lodo de ETE de indústria de papel também foi verificado por Collatto (2008).

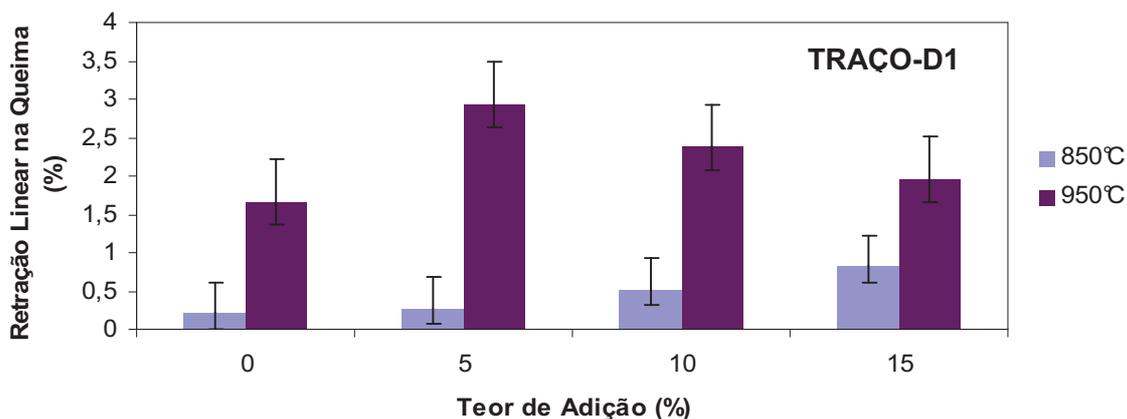


Figura 4.24 - Retração linear nos corpos de prova do D1.

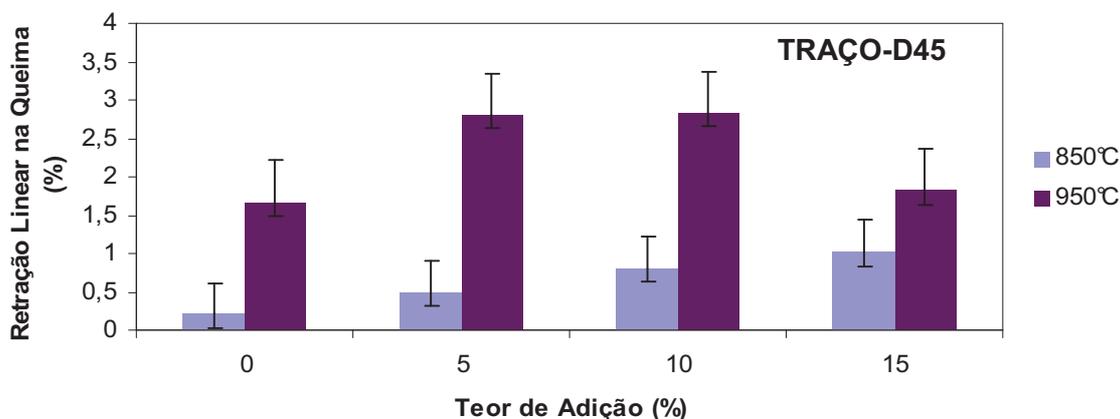


Figura 4.25 - Retração linear dos corpos de prova do D45.

A densificação é consequência da vitrificação (fenômeno que ocorre na sinterização), com a formação da fase vítrea e a reação desta com elementos fundentes presentes na massa cerâmica, de acordo com Arantes *et al* (2001). A densificação está ligada à etapa de sinterização e principalmente aos componentes da argila, por isso foi verificada com outro resíduo (lodo de ETE).

A retração linear nos traços com adição de escória ficaram dentro do limite indicado pela referência usada para retração linear após a sinterização.

Esse resultado foi de acordo com o verificado por Verçosa (1994), para tijolos sem resíduos.

4.3.2.4. Resistência Mecânica à Flexão a 3 Pontos

Segundo a NBR 15270-1 (2005), a tensão mínima de ruptura após a sinterização é de 1,5 MPa (cerâmicos e blocos comerciais de vedação) e 3,0 MPa (cerâmicos e blocos comerciais com função estrutural).

Para o ensaio de resistência mecânica na flexão a 3 pontos, após a sinterização foram analisadas 20 medidas de corpos de prova e estão representadas no gráfico da Fig. 4.26 (Traço-D1) e na Fig. 4.27 (Traço-D45).

A variação de resistência mecânica para o Traço-D1 ficou entre 4,32 a 8,55 MPa, enquanto o Traço-D45 ficou entre 5,32 e 8,60 MPa de resistência mecânica na flexão.

Quanto aos corpos de prova D1, a resistência mecânica diminuiu com o aumento de adição de escória em relação ao Referência, a menor resistência mecânica foi com a adição de 10% (nas duas temperaturas de sinterização).

A melhor resistência no D1 foi com 5% de adição. A diminuição da resistência no D1 provavelmente está relacionada a maior quantidade de Ca existente na escória D1, conforme verificado na análise química (item 4.1.1.1).

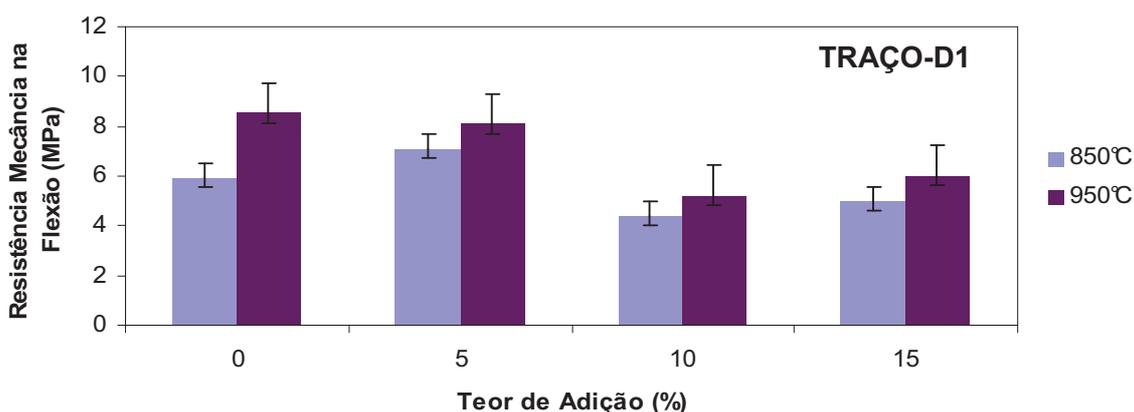


Figura 4.26 - Resistência mecânica na flexão dos corpos de prova D1.

Os corpos de prova D45 (10% e 15% de adição), na temperatura de 850°C, tiveram um aumento na resistência mecânica, entretanto para a temperatura de 950°C houve uma diminuição da resistência com o aumento do

teor de escória, isto pode estar relacionado a uma maior densificação dos corpos de prova.

Os corpos de prova D1 e D45 sinterizados em 950°C apresentaram resistências mecânicas um pouco maiores que os da temperatura de 850°C. Vilela *et al*, (1994) ao estudar escória de aço inoxidável em material cerâmico também atribuiu a melhor resistência a este fator. Colatto (2008), ao estudar resíduo de ETE de indústria de papel também relacionou desta forma o aumento da resistência mecânica com o aumento da temperatura de sinterização.

Esses resultados conferem com os resultados das análises de difração de raios-x das escórias D1 e D45, onde foram verificados diversos óxidos (Figura 4.4 e 4.5), microscopia eletrônica de varredura (Fig. 4.6 – b e Fig. 4.7 - a), análise visual dos corpos de prova inteiros (Fig. 4.18, a e b) e fraturados (Fig. 4.21) e com as imagens de corpos de prova na lupa (item 4.2.2.8).

Dana *et al* (2005) verificou no seu estudo que a escória quando adicionada ao material cerâmico, melhora a resistência mecânica do material cerâmico, devido à presença de óxidos alcalino-terrosos na escória que desenvolvem mulita e anortita em altas temperaturas (acima de 1000°C).

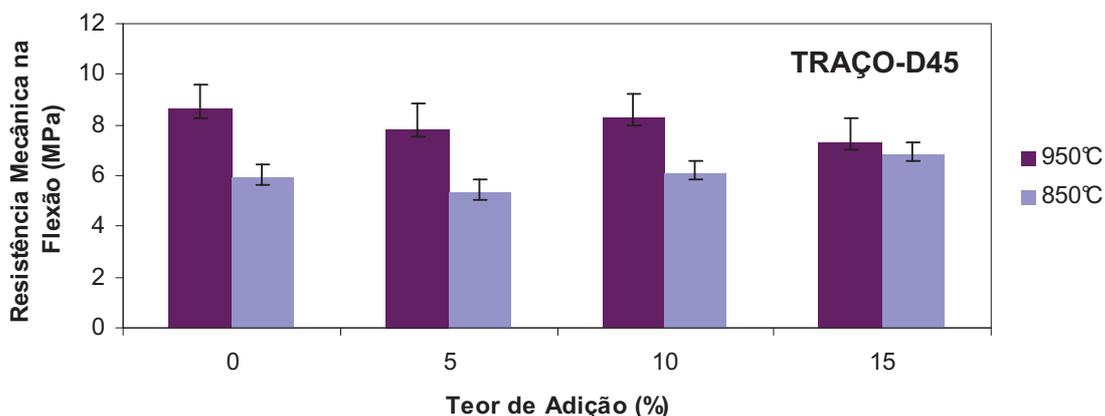


Figura 4.27 - Resistência mecânica na flexão dos corpos de prova D45.

Em relação ao traço Referência, o D1 com 5% de escória apresentou resistência mecânica maior; nos corpos D45, os sinterizados a 850°C com 10 e 15% de adição ficaram acima do referência enquanto para a temperatura de

950°C nenhum ficou com resistência acima do referên cia.

As melhores resistências mecânicas foram: D1 com 5% de escória (para as duas temperaturas) e D45 com 10% e 15% de escória (as duas temperaturas). Resultados semelhantes foram verificados por Vilela *et al.* (1994), ao estudarem escória de aço inoxidável em adição ao material cerâmico.

Todos os Traços ficaram dentro da norma inclusive bem superior ao mínimo necessário para blocos cerâmicos de vedação (1,5 MPa), para resistência mecânica na flexão a 3 pontos após a sinterização

4.2.2.5. Absorção de Água

Para a absorção de água foram ensaiados 20 corpos de prova, conforme os gráficos da Fig. 4.28 (Traço-D1) e Figura 4.29 (Traço-D45).

A absorção de água variou para o Traço-D1, que ficou entre 7,62% a 17,49%, enquanto o Traço-D45 ficou entre 3,6% e 17,63%.

Segundo a norma NBR 15270-1 (ABNT, 2005), o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% e nem superior a 22%.

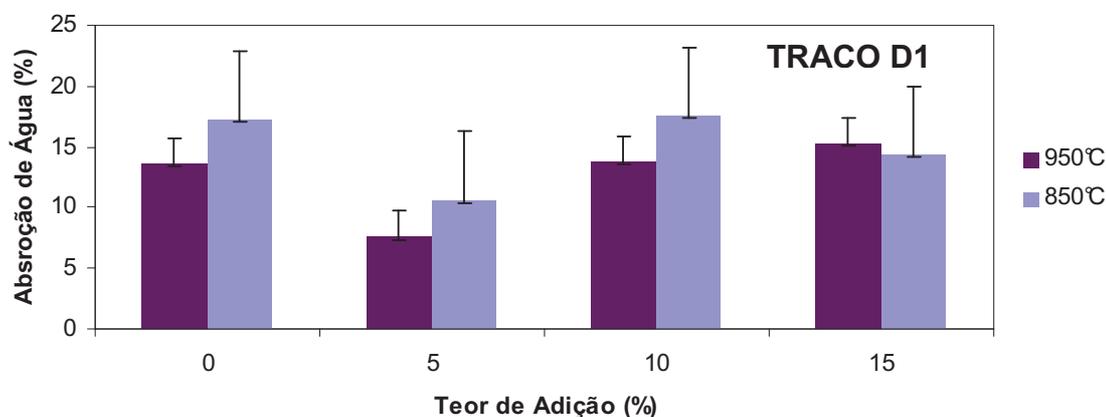


Figura 4.28 - Absorção de água dos corpos de prova D1.

Em relação ao cp Referência, os corpos de prova D1 e D45 mantiveram valores de absorção similares, menos para o D1 (5% de adição) em D45 (10% de adição).

Os corpos de prova sinterizados a 950°C tiveram uma menor absorção de água, isso pode estar ocorrendo porque esses corpos estão mais densos, isto é, sua estrutura é mais compacta e provavelmente menos porosa. Corpos de prova sinterizados acima de 900°C com 5% e 10% de lodo de ETE também tiveram redução na absorção de água, de acordo com Collatto (2008) devido a maior densificação do material.

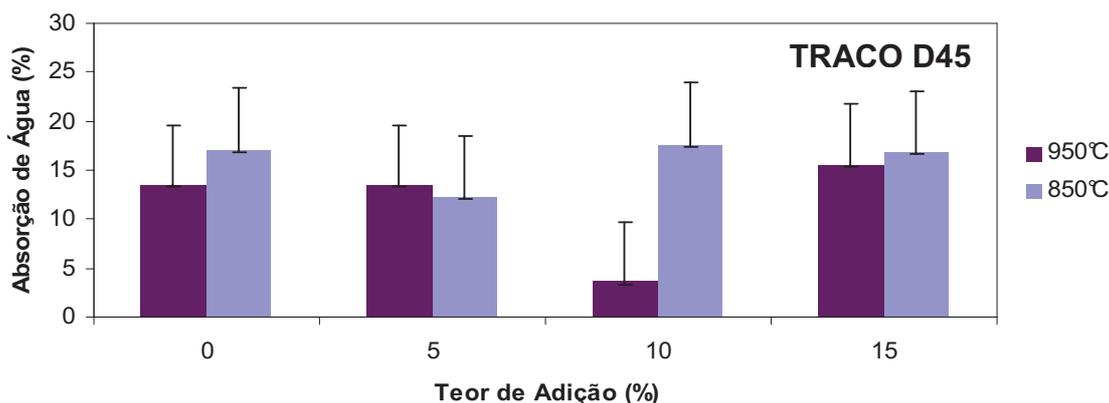


Figura 4.29 - Absorção de água dos corpos de prova D45.

Os corpos de prova D1 e D45 sinterizados na temperatura de 850°C, ficaram dentro da norma, enquanto os sinterizados a 950°C: D1 com 5% e D45 com 10% ficaram fora da norma, por apresentarem uma absorção de água menor que 8%.

4.2.2.6. Porosidade Aparente

Para o cálculo da porosidade aparente foram analisados 20 corpos de prova que estão representados nos gráficos da Fig. 4.30 (Traço-D1) e Fig. 4.31 (Traço-D45).

A porosidade aparente do Traço-D1 ficou entre 15,08% a 32,34%, enquanto o Traço-D45 ficou entre 7,94% e 32,2%.

Nos Traços-D1 e D45, para a maior temperatura ocorre uma menor porosidade aparente, exceto no teor de 5% do Traço-D45, provavelmente devido a uma maior densificação dos cp, conforme constatado também em estudo com adição de escória de aço inoxidável (Vilela *et al*, 1994).

Quando comparados aos cp Referências, os CP D1 e D45 apresentam

uma porosidade aparente similar, com exceção dos corpos D1 (com 5%) e D45 (com 10%). Resultados similares foram encontrados por Vilela *et al.* (1994) ao adicionarem escória em material cerâmico.

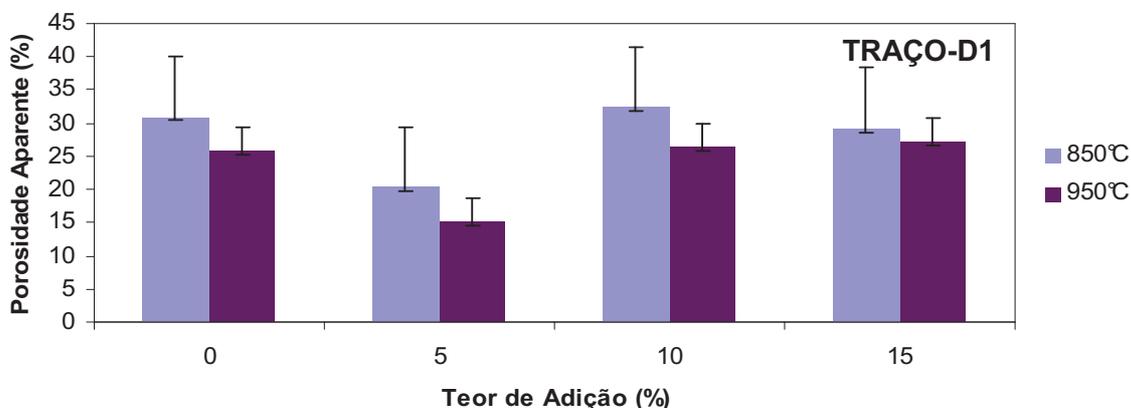


Figura 4.30 - Porosidade aparente do Traço-D1.

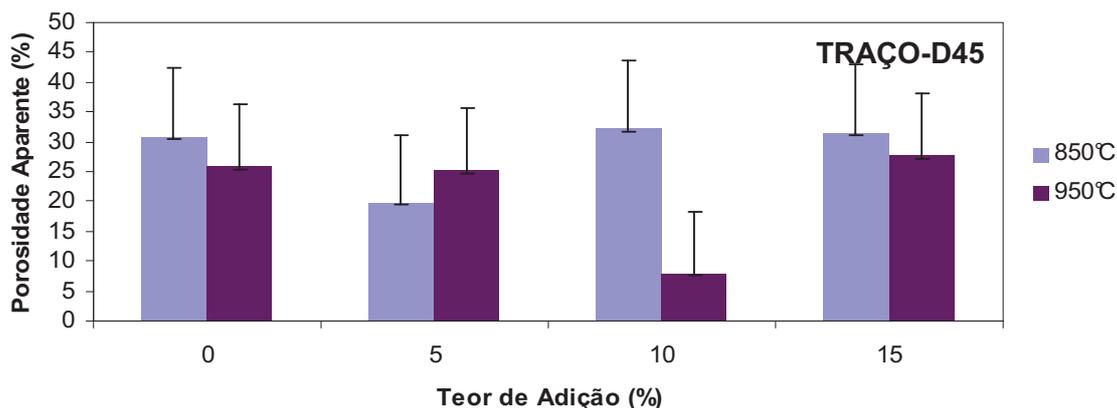


Figura 4.31 - Porosidade aparente do Traço-D45.

Os corpos de prova para ambos os Traços de temperatura de sinterização de 950°C mostram uma tendência a porosidade aparente menor que os da outra temperatura, inclusive no Referência. Sendo assim, isto está relacionado a densificação dos corpos de prova, o que não ocorre para a temperatura de 850°C, em ambos os Cp D1 e D45. À medida que o teor de escória aumenta a porosidade também aumenta.

Vieira *et al.* (2005) alertaram que teores de adição de escória acima de 10% na cerâmica, causam aumento da porosidade final do produto.

Em relação aos cp sinterizados à 950°C, a tendência de redução de porosidade e absorção de água em função da adição de escória e sua vitrificação foi mascarado pelo maior aparecimento de fissuras junto aos pontos brancos da amostra. No item 4.2.2.8. serão mostradas as fissuras encontradas.

4.2.2.7. Análise Térmica

Os métodos de análise térmica utilizados nos corpos de prova foram a Análise Térmica Diferencial (ATD) e a Termogravimetria (TG).

As figuras da análise térmica diferencial (ATD) para o Traço Referência, Traço-D1 e Traço-D45 estão no Anexo 3.

O Traço-Referência (sem resíduo) apresentou dois picos endotérmicos, em 96°C (perda de água) e em 594°C, que representa provavelmente a desidrilação (perda de OH).

O corpo de prova do Traço-D1 (5%, 10 % e 15%) possui os primeiros picos endotérmicos na mesma na faixa entre 91°C (teor de 15%) e 93°C (teor de 5% e 10%), representando a perda de água da amostra e os segundos picos endotérmicos estão em 587°C (teor de 5%), 588 °C (teor de 10%) e 584°C (teor de 15%), que é decomposição do Ca(OH)_2 . (Graffitti, 2002; Gumieri, 2002). Os picos exotérmicos são representados por 125°C (teor de 5%), 126°C (teor de 10%) e 121°C (teor de 15%).

O corpo de prova do Traço-D45 mostra que os primeiros picos endotérmicos estão em 93°C (teores de 5% e 10%) e 86°C (teor de 15%), representando a perda de água da amostra. Os segundos picos endotérmicos estão em 588°C (teores de 5% e 10%) e 585°C (teor de 15%), onde ocorre a decomposição do Ca(OH)_2 (Graffitti, 2002; Gumieri, 2002). Os picos exotérmicos são representados por 121°C (teores de 5% e 10%), 114°C (teor de 15%).

De acordo com a análise dos resultados do Traço-D1 e D45 pode-se verificar a presença do Ca(OH)_2 . Essa análise está de acordo com a análise química e difração de raios-x (Fig. 4.14 e 4.15).

A partir da análise termogravimétrica (AT) observa-se a perda de massa (PM), obtidas para os Traços-Referência, D1 e D45 (Tabela 4.8) e que no

Traço-D1, quanto maior a adição de escória menor a perda de massa.

A maior perda de massa total foi no Traço-D1 com 5% de escória, enquanto a menor foi no Traço-D45 com 15% de escória.

Esses resultados estão de acordo com a perda de massa das escórias, onde a Escória-D1 obteve a maior perda de massa total (8,55%). Assim como, a perda de massa do Traço-Referência está similar à perda de massa da argila (7,29%).

As menores perdas de massa total ocorreram com a maior quantidade de adição (15%) nos Traços-D1 e D45.

Tabela 4.8 – Perda de massa nos Traços Referência, D1 e D45.

Traços	Temperatura (°C)	PM (%)	PM Total (%)
Referência	118	3,38	8,08
	586	4,57	
D1 com 5%	41	1,47	8,69
	199	2,16	
	513	2,51	
	637	2,45	
D1 com 10%	97	3,53	8,55
	579	4,73	
D1 com 15%	97	2,73	7,64
	575	4,80	
D45 com 5%	103	3,58	8,27
	581	4,49	
D45 com 10%	121	3,68	8,39
	583	4,61	
D45 com 15%	108	3,10	7,49
	575	4,17	

4.2.2.8. Lupa

A análise por lupa foi utilizada para verificar as pontuações coloridas e fissuras na superfície do material cerâmico. Para analisar as pontuações

coloridas foram observados 30 corpos de prova.

A análise por lupa dos corpos de prova de ambos os Traços mostrou que na maioria dos Cp possui uma coloração rosada homogênea e variável em função do teor de escória, quanto mais escória mais rosado escuro torna-se o corpo. Quanto às pontuações escuras, estas são muito pequenas (Fig. 4.32).

Os corpos sinterizados a 950°C apresentam uma matriz mais fina e compacta (densificada) que os sinterizados em temperatura menor. Esse resultado é condizente com os resultados obtidos pelos ensaios de retração linear (item 4.3.2.3) e resistência mecânica (item 4.3.2.4).

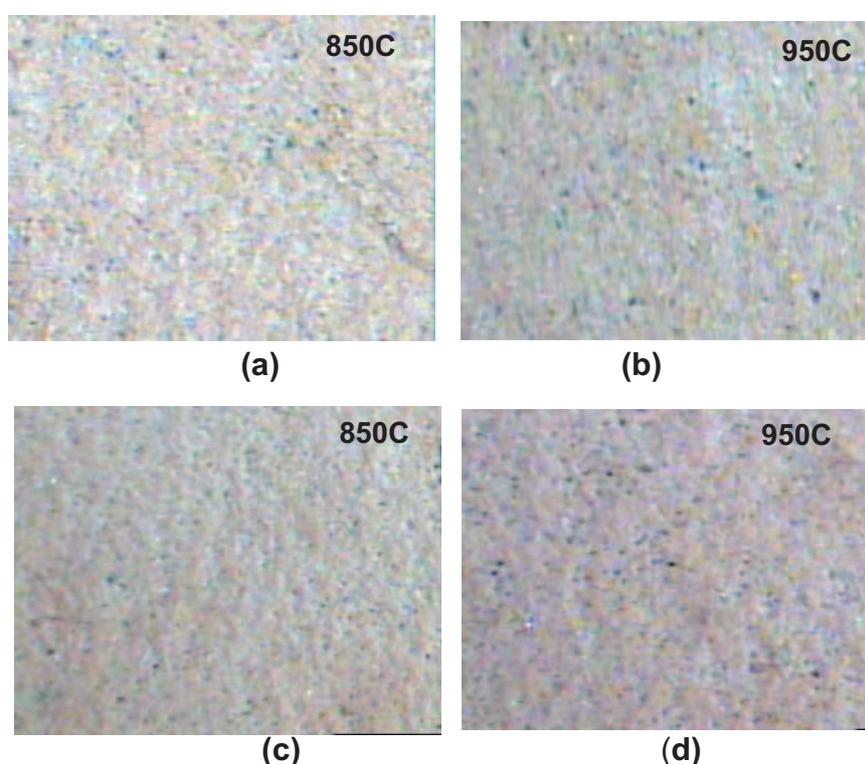


Figura 4.32 –Corpos de prova dos Traços-D1 e D45: (a) D1 15% (0.63x); (b) D1 15% (0,63x) (c) D45 -5% 850°C (0.63x) e (d) D45 – 5% 950°C (0,63x).

A análise na lupa mostrou que existem dois tipos de pontuações escuras: foscas (óxidos de metal, Fig. 4.39) e brilhantes (partículas metálicas, Fig. 4.42). As pontuações brancas estão presentes em praticamente todos os teores com escória e tem aspecto de película (Fig. 4.34 e 4.41). Estas características das pontuações estão presentes tanto nos corpos de prova D1 quanto no D45, entretanto as pontuações escuras ocorrem mais nos corpos de

prova D45. Este resultado está de acordo com a análise visual (Item 4.2.2.1), que também verificou partículas metálicas, com a separação magnética (item 4.2.2.4).

Quanto às fissuras, a análise na lupa indicou que elas podem estar preenchidas possivelmente por escória, conforme no CP com 5% de escória do Traço-D1 (Fig. 4.35) e CP com 15% de escória do Traço-D45 (Fig. 4.40).

Os corpos de prova do Traço-D1, sinterizados a 850°C (Fig. 4.33 a 4.35) e 950°C (Fig. 4.37 a 4.39), possuem pontuações escuras dos dois tipos: as foscas apresentam aspecto rugoso (Fig. 4.31) e outras brilhantes são lisas (Fig. 4.37).

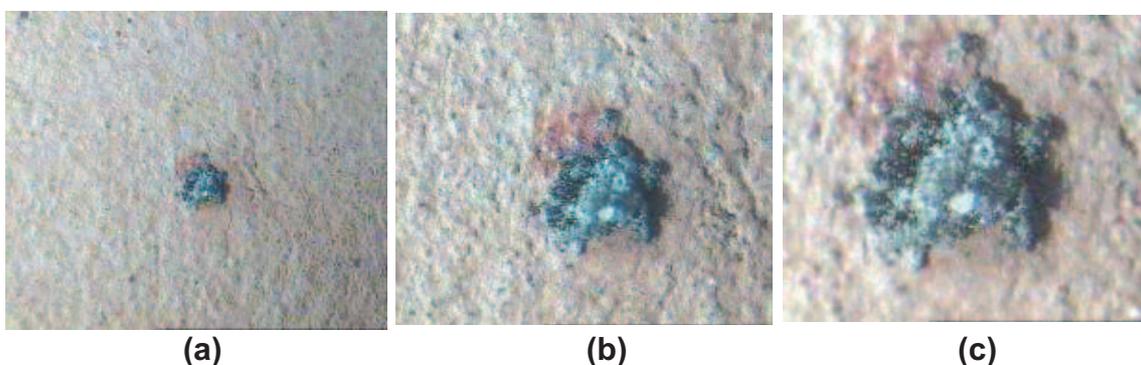


Figura 4.33 – CP 5% de escória. Óxido de metal (aumento 0,63x e 1,6x, e 2,5x, da esquerda para a direita).

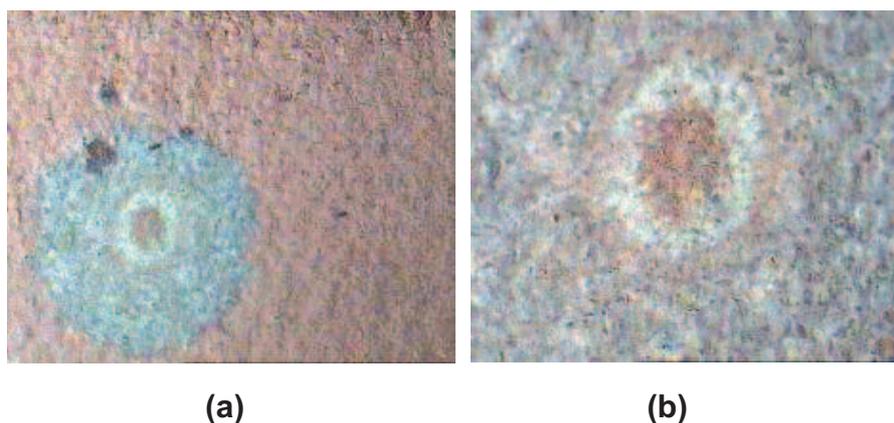
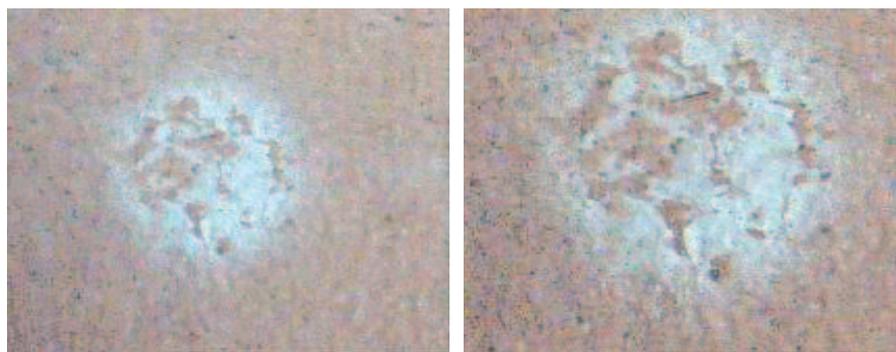


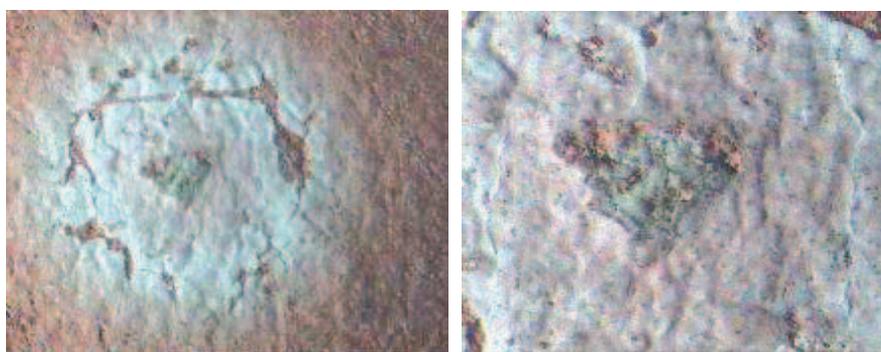
Figura 4.34 – CP 10% de escória. Halos de reação ao redor da pontuação branca. (a) aumento 0,63x e (b) 1,6x.



(a)

(b)

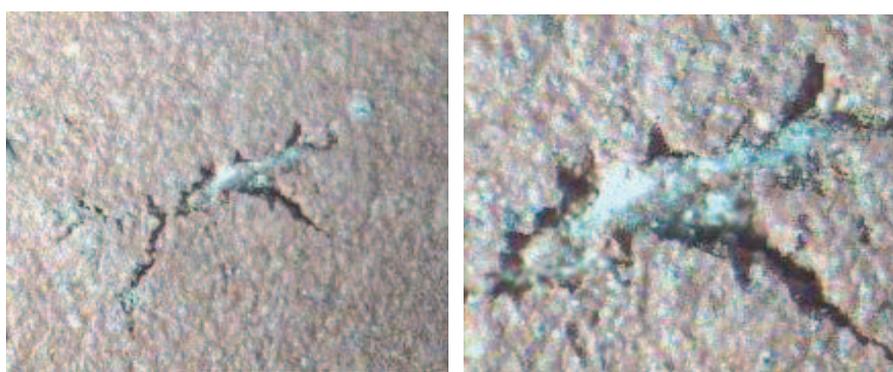
Figura 4.35 – CP 15% de escória. Pontuação branca (a) aumentos 0,63x e (b) 1,0x.



(a)

(b)

Figura 4.36 – CP 5% de escória. Pontuação branca com escória no meio. (a) aumento 0,63x e (b) 1,6x.



(a)

(b)

Figura 4.37 – CP 5% de escória. Fissura de expansão (a) aumento 0,63x e (b) 1,6x.

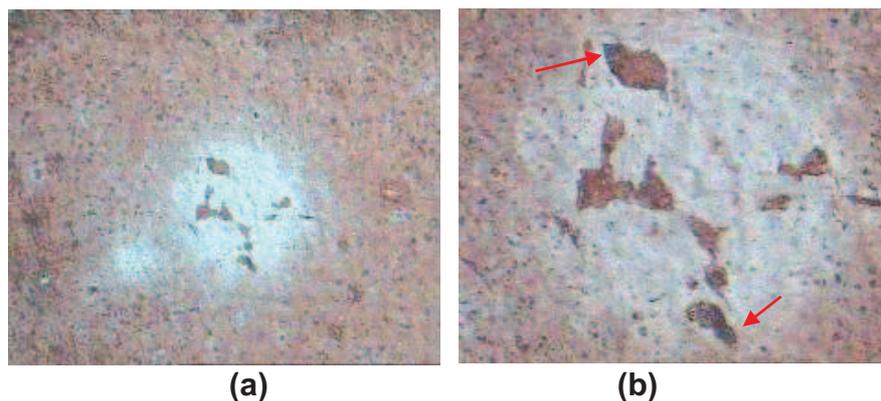


Figura 4.38 – CP 10% de escória. Pontuações branca e escura. **(a)** aumento 0,63x e **(b)**1,6x.

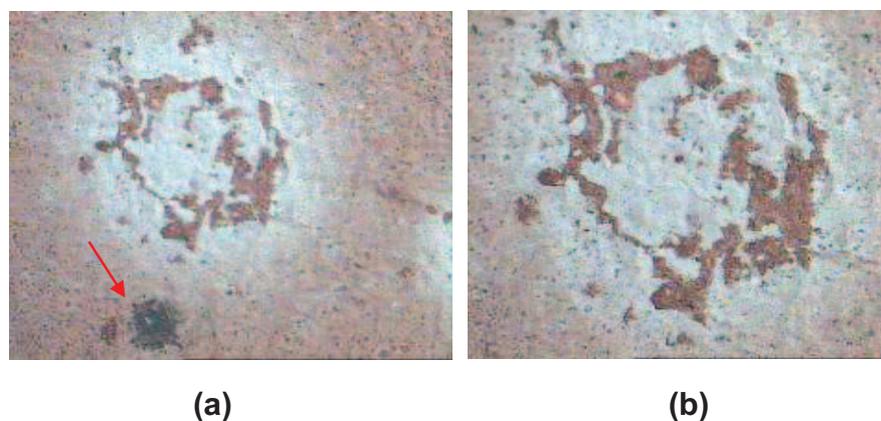


Figura 4.39 – CP 15% de escória. Pontuação branca e óxido de metal. **(a)** aumento 0,63x e **(b)** 1,6x.

A seguir os corpos de prova do Traço-D45, sinterizados a 850°C (Fig. 4.40 a 4.42) e 950°C (Fig. 4.43 a 4.45) representativos das características descritas.

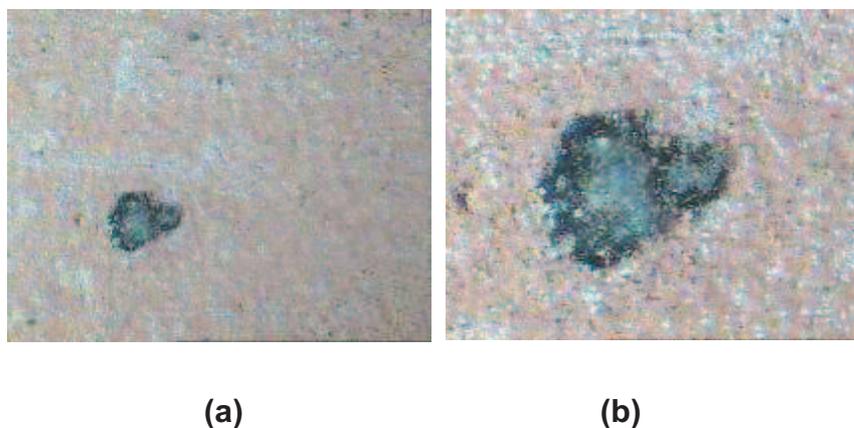


Figura 4.41 – CP 10% de escória: Óxido de metal, **(a)** aumento 0,63x, **(b)** 1,6x e **(c)** 2,5x.

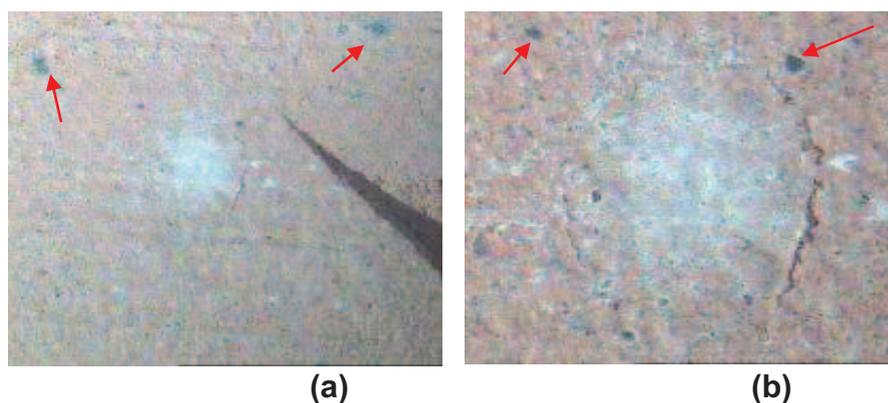


Figura 4.42- CP 15% de escória: (a) Pontuações branca e escura (aumento de 0,63x) e (b) Trinca e pontuações escuras (aumento de 1,6X).

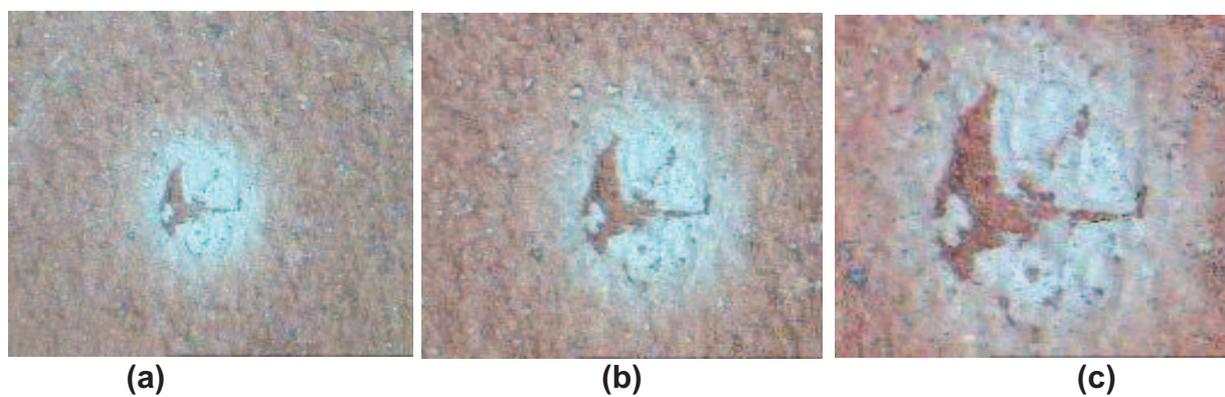


Figura 4.43 – CP 5% de escória. Pontuação branca. (a) aumento de 0,63x; (b) 1,0x e (c) 1,6x.

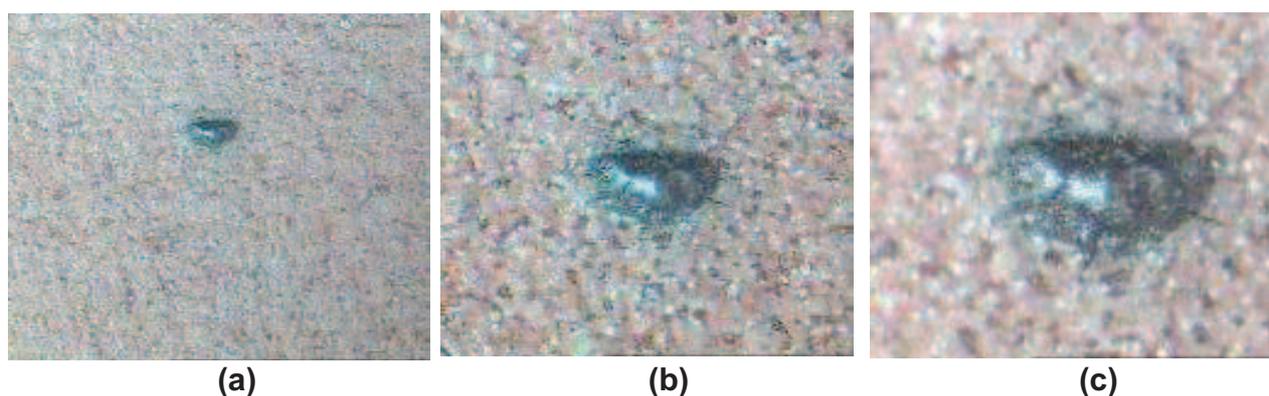


Figura 4.44 – CP 10% de escória. Partícula metálica. (a) aumento de 0,63x; (b) 1,6x e (c) 2,5x.

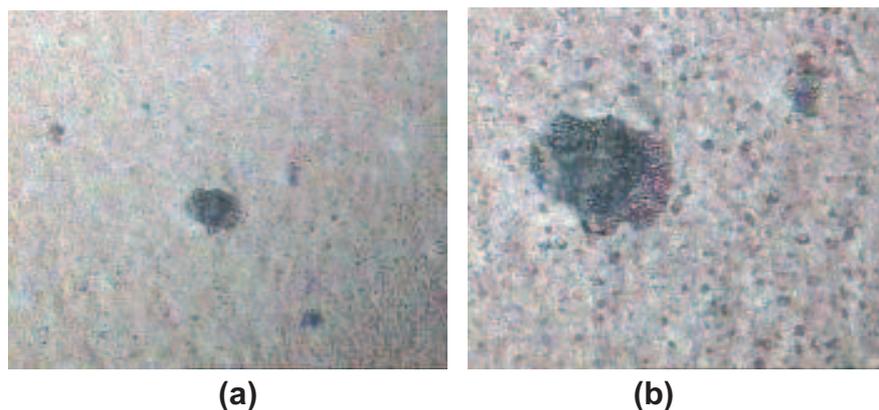


Figura 4.45 – CP 15% de escória. Óxido de metal. **(a)** aumento de 0,63x e **(b)** 1,6x.

4.2.2.9. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O mapeamento por EDS foi realizado nos corpos de prova do Traço-D1 e D45, sinterizados em temperatura de 850°C, com a função de verificar os elementos Ca e Fe. Esses elementos são os prováveis causadores das pontuações coloridas (branca e escura).

As pontuações escuras no D45 pela análise da composição química no mapeamento (Fig. 4.46), das micrografias (Fig. 4.47), e mapeamento (Fig. 4.48) dos corpos de prova foram identificadas como sendo óxido de ferro. Este resultado está de acordo com o verificado na análise por difração de raios-x da escória D45 (Figura 4.5), análise visual (item 4.2.2.1) e em lupa (item 4.2.2.8). O elemento Fe também foi verificado na microestrutura da escória através de MEV com EDS por Osório *et al.*, 2002.

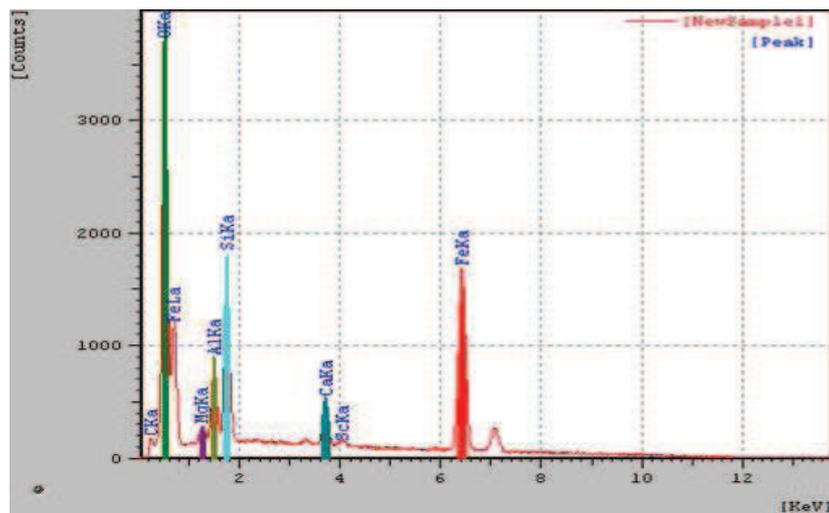
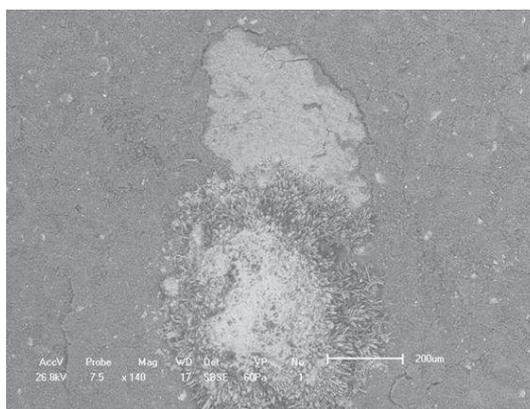
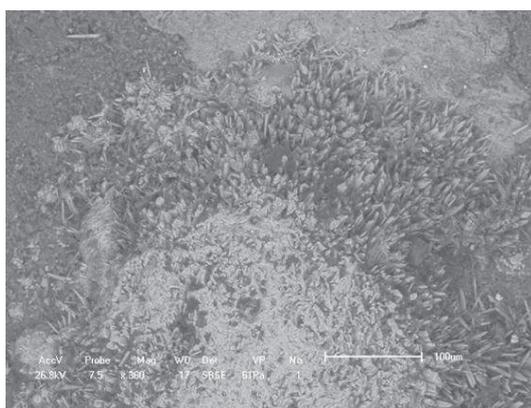


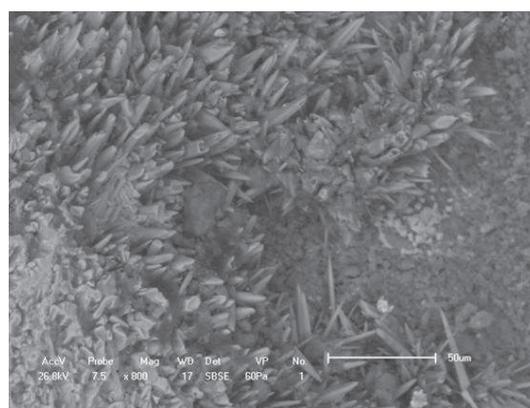
Figura 4.46 – - Corpos de prova do Traço- D45.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.47 – - Micrografia do corpo de prova D45: (a)200 μm (b)100 μm e (c) 50 μm.

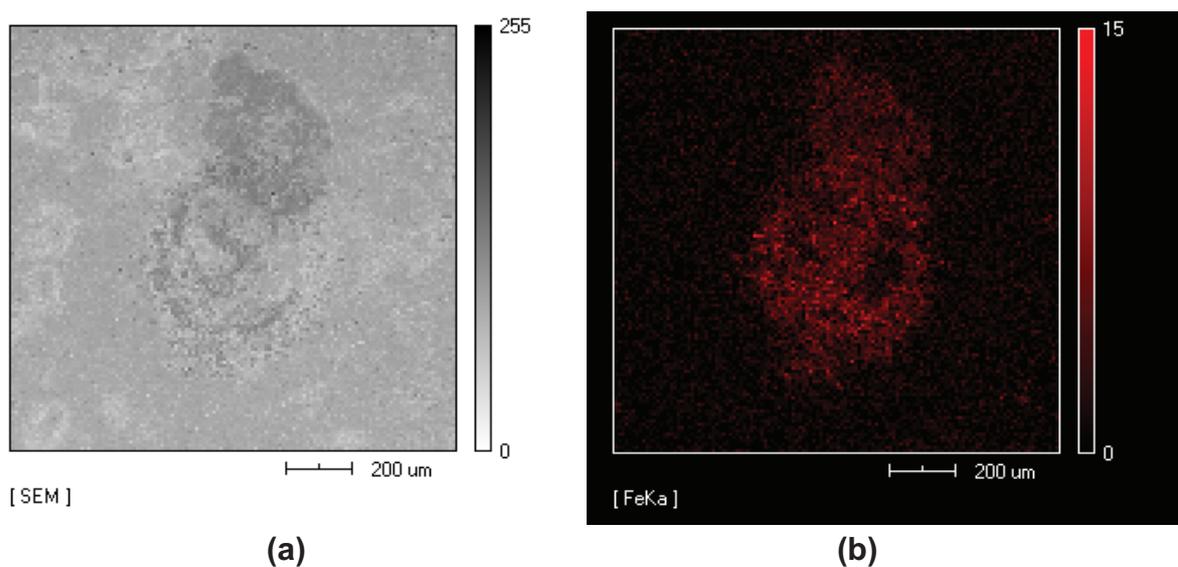


Figura 4. 48– - Corpo de prova do D45. (a) amostra e (b) elemento Fe.

Quanto às pontuações brancas, elas foram identificadas no corpo de prova D1. Com a análise química (Fig.4.49) foi verificado que o Ca é o principal elemento do composto. O mapeamento identificou compostos de ferro e cálcio (Fig. 4.50 – b e c). Este resultado está de acordo com a o verificado na análise de difração de raios-x da escória D1 (Fig. 4.4).

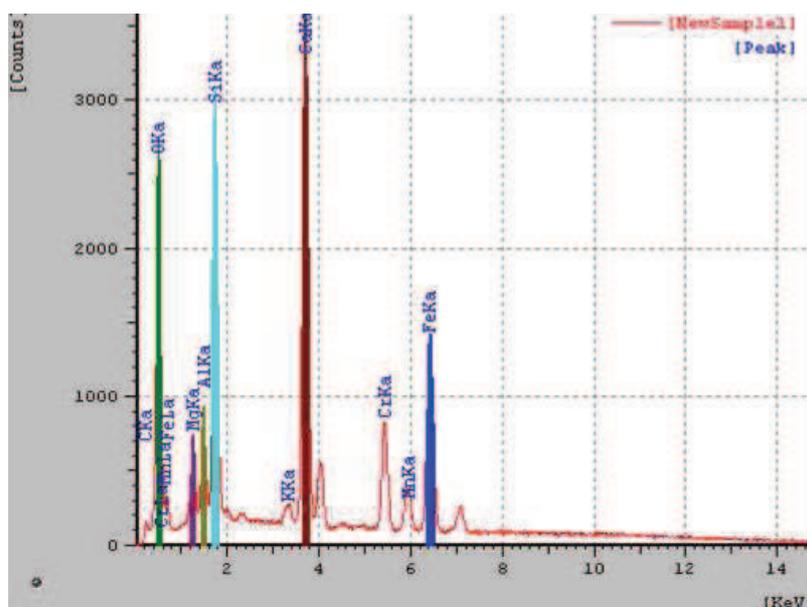


Figura 4.49– - Corpos de prova do Traço- D1.

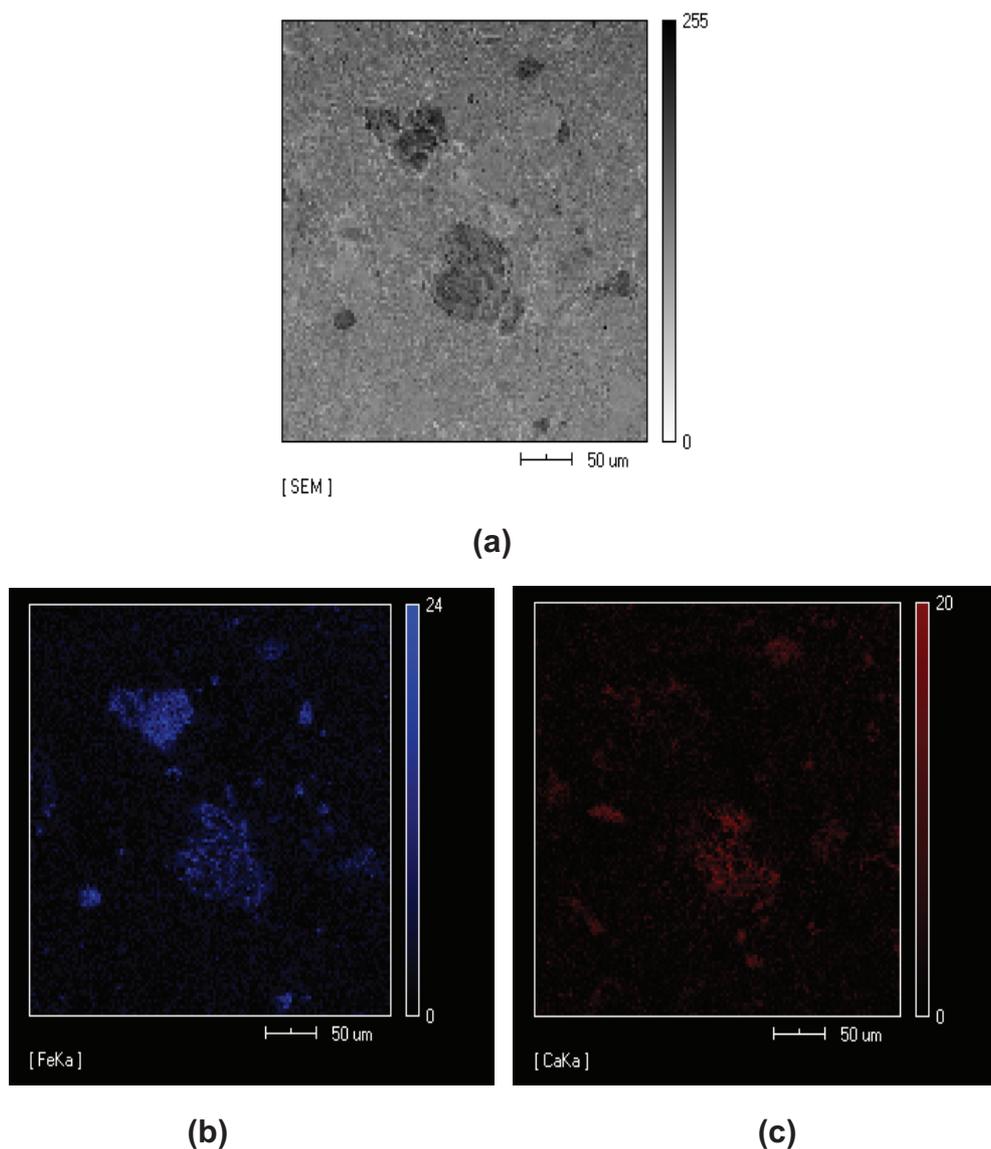


Figura 4. 50– - Corpo de prova D1. (a) amostra (b) elemento Fe e (c) elemento Ca.

4.2.3. Sobre a Reciclagem da Escória em Material Cerâmico

De acordo com os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova cerâmicos secos e sinterizados, pode-se dizer que:

- A análise visual dos corpos de prova com escória após a secagem mostraram que os corpos possuem coloração praticamente igual aos do Traço Referência; enquanto na análise visual após a sinterização verificou-se que há mudança na coloração de acordo com a adição do resíduo;

- As pontuações brancas ocorrem somente nos corpos de prova do Traço-D1 após a secagem e nos dois Traços após a sinterização, entretanto no sinterizado a 950°C mostrou mais pontuações brancas e escuras que o sinterizados em 850°C, assim como fissuras;

- A retração linear de secagem nos corpos de prova com as escórias D1 e D45 foi bem maior que a retração linear na queima;

- Quanto à resistência mecânica nos CP sinterizados: os CP D1 com 10 e 15% de escória tiveram uma queda em relação ao com 5%, enquanto nos CP do Traço-D45 para os mesmos teores de adição houve uma melhora na resistência mecânica.

- O aumento da resistência deve ser atribuído a densificação (decorrente do processo natural de sinterização) do material cerâmico e à presença de óxidos de metais advindos da escória que podem ter agido como fundentes no material cerâmico.

5. CONCLUSÕES

A segregação mostrou-se ser fundamental para a caracterização e viabilização desta pesquisa.

Com relação à caracterização química e física da escória constatou-se que o beneficiamento realizado pela empresa terceirizada teve eficiência diferente em cada escória estudada, sendo a D1 melhor beneficiada, isto é com menor quantidade de Fe.

A partir da caracterização física verificou-se que o maior tempo de estocagem pode ter influenciado a maior desintegração da escória D45 em relação a D1.

Com os ensaios realizados nos corpos de prova cerâmicos pode-se concluir que:

- A coloração dos CP's após secagem é alaranjada e homogênea em todos os traços de adição, enquanto os CP's após sinterização não seguem esta regra e apresentam-se mais rosado escuro com o aumento do teor de resíduo;

- Os corpos sinterizados a 950°C apresentam uma matriz mais fina e densificada que os sinterizados em temperatura menor;

- Alguns corpos de prova apresentam pontuações brancas, escuras e partículas metálicas. As pontuações brancas são cal, as escuras são óxidos de metal e as partículas metálicas são provavelmente aço. Estas características das pontuações estão presentes em ambos CP's, entretanto as pontuações brancas ocorrem mais no CP D1, enquanto as escuras ocorrem mais nos corpos de prova D45;

- A análise térmica identificou no corpo de prova D1 e D45 a presença do $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

- Quanto aos ensaios de resistência mecânica e retração linear todos os traços sinterizados ficaram dentro do limite aceitável. Em relação ao ensaio de absorção de água apenas os CP's do traço D1 e D45 (sinterizados a 950°C) ficaram fora da norma, por apresentarem uma absorção de água menor que 8%;

- O aumento da resistência deve ser atribuído a densificação do material cerâmico e à presença de óxidos de metais provenientes da escória no material cerâmico;

Quanto ao tempo de estocagem pode-se dizer que:

- Os corpos de prova com a escória D45 apresentaram uma maior resistência mecânica que os confeccionados com a D1. Essa característica provavelmente está relacionada a menor quantidade de CaO que a D45 contém, que provavelmente foi lixiviado durante a exposição ao meio;

Embora para avaliar a influência do tempo de estocagem em escória necessita-se de tempo de estocagem maiores e mais medições que os considerados nesta pesquisa, pode ser considerado que uma tendência ao aumento de desintegração e menor quantidade de CaO com aumento no tempo de estocagem tenha ocorrido.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos neste trabalho permitem sugerir os seguintes trabalhos futuros sobre a incorporação de escória forno panela de aciaria elétrica em material cerâmico:

- Adicionar ao material cerâmico uma escória com maiores tempos de estocagem;
- Testar maiores teores de adição de escória de forno panela no material cerâmico e temperaturas mais altas;
- Avaliar a expansibilidade da escória quando adicionada ao material cerâmico;
- Realizar ensaios ambientais e de durabilidade, como ataque a cloretos;
- Verificar a influência de maior granulometria de escória ao material cerâmico para aumentar a quantidade de escoria adicionada, aumentando assim a viabilidade econômica;
- Testar em escala industrial a adição de escória de forno panela;
- Pesquisar a adição da escória utilizando outros tipos de argilas;
- Analisar os corpos de prova por difração de raios-X;

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) nº 120. Materiais para Fundição – Determinação da perda ao Fogo. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) nº 081. Materiais Granulares Usados em Fundição – Determinação da Distribuição Granulométrica e Módulo de Finura. 2003.

ALANYALI, H., ÇÖL, M., YILMAZ, M., KARAGÖZ, S. Application of Magnetic Separation to Steelmaking Slags for Reclamation. *Waste Management*. 26: 1133–1139, 2006.

ALVES, J.O. Processo de Reciclagem de Escória de Aciaria e de Resíduo do Corte do granito visando à Produção de Lã Mineral. Tese de mestrado, REDEMAT UFOP CETC UEMG, Ouro Preto, 2008, pp. 116.

AMARAL, F.A., VILELA, A.C.F., TUBINO, R.M.C., SCHNEIDER, I.A.H. Tratamento de Drenagem Ácida de Minas (DAM) em Reator de Leito Empacotado com Escória de Aciaria Elétrica. In: 63^o Congresso da ABM 2008. pp. 1711-1721.

ARANTES, F.J.S., GALES, D.F., QUINTEIR, E., BOSHI, A.O. O Manchamento e a Porosidade Fechada de Grês Porcelanato. *Cerâmica Industrial*. 6(3): 18-25, 2001.

ARAUJO, L. A. Histórico da Siderurgia. In: Manual da Siderurgia, 1, 1967, São Paulo, pp.3-15.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248: Agregados – determinação de composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6508: grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6459: Solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7180: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7181:

solos: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10006: Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004: Classificação dos resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15270-1: componentes cerâmicos parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

BALATON, V.T., GONÇALVES, P.S., FERRER, L.M. Incorporação de Resíduos Sólidos Galvânicos em Massas de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*. 42-45, 2002.

BAKHAREV, T, SANJAYAN, J.G, CHENG, BING-YI. Alkali activation of Australian slag cements. *Cement and Concrete Research*. 29:113–120,1999.

BARBA, A., BELTRÁN, V., FELÍU, C., GRACIA, J., GINÉS, F., SÁNCHEZ, E., SANZ, V. Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas. In: *Características fisicoquímicas y propiedades de las materias primas cerámicas*. Graphic Group, S.A. Cap.4, 131- 194, 2002.

BIENERT, L. M. , MACHADO, L. A., TUBINO, R. M. C. ,SCHNEIDER, I.A.H. Prevenção da Geração de Drenagem Ácida de Minas (DAM) com Misturas de Rejeito de Carvão e Escória de Aciaria Elétrica. In: 63^o Congresso da ABM 2008. pp. 3247-3255.

BERTUOL,D.A. Caracterização e Utilização do Resíduo Sólido Gerado no Acabamento de Peças de Zamac como Matéria-Prima para a Obteção de Materiais Cerâmicos. Tese de Mestrado, PPGEM UFRGS, Porto Alegre, 2003, pp. 128.

BERNDT, M.L. Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*. 23: 2606–2613, 2009.

BIELEFELDT, W.V., MORAES, C.A.M., VILELA, A.C.F., Klujszo, L.A.C., FERNANDES, P.C. Caracterização e estudo termodinâmico de inclusões do aço SAE 8620 produzido via Aciaria Elétrica. *Estudos Tecnológicos*.1:78-90, 2006.

BORLINI, M.C., SALES, H.F., VIEIRA, C.M.F., CONTE, R.A., PINATTI, D.G., MONETIRO, S.N. Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha Parte I: características da cinza. *Cerâmica*. 51: 192-196, 2005.

BREHM, F.A., BERSCH, R.A., COLLATTO, D., MORAES, C.A.M., KASMIERCZAK, C., PAMPANELLI, A., ROXO, K., RODRIGUES, V., LIEDKE, E. Reciclagem de Lodo de Fosfatização como Adição em Cerâmica Vermelha. In: 62^o Congresso da ABM 2007. pp. 2115-2126.

BREHM, F.A., BERSCH, R.A., COLLATTO, D., MORAES, C.A.M., PAMPANELLI, A., SILVA, F.D. Avaliação da Aplicação de Lodo de Fosfatização na Fabricação de Cerâmica Vermelha em Laboratório e na Indústria. In: 63^o Congresso da ABM 2008. pp. 1871-1881.

BREHM, F.A., BERSCH, R.A., COLLATTO, D., MORAES, C.A.M., RODRIGUES, V., ROXO, K., Produção de Blocos Cerâmicos com Adição de Lodo de Fosfatização como Matéria-Prima – Escala Industrial. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008.

BRUNTLAND, G. H. (org.).Nosso Futuro Comum. Editora da FGV. Our Common Future, Oxford: Oxford University Press,1987.

BÜHLER, R.R. Panorama Atual e Perspectivas da Siderurgia Brasileira. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br/cim/downloads.asp> (acessado em 02/08/2009).

CALMON, J. L. Resíduos Industriais e Agrícolas. In: Materiais da Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, 1, 2007. São Paulo, pp.1591-1627.

CAMPREGHER, N. Estudo de Viabilidade da Incorporação do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de Papel, Celulose e Aparas em Material Cerâmico. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química,UFSC, Florianópolis, 2005, pp.84.

CECCATTO,D.M. Avaliação da utilização de Escória Granulada de Fundição (EGF) como Substituição de Parte do Cimento em Concreto – Propriedades Mecânicas. Tese de Mestrado, PPGEM, Porto Alegre, 2003, pp.286.

CESAR, A.C.G. Desenvolvimento de Blocos Confeccionados com Escória Proveniente da Reciclagem do Aço. Tese de Mestrado, EESC, USP, São Carlos, 2008, pp.190.

COELHO, M.A.M., SILVA, M.G., SOUZA, F.L.S., SARMENTO, R., ZANDONADE, E., MORIMOTO, T., HELMER, J.L. Bloco de Concreto Tipo Quebra-Mar com Escória de Alto-Forno Ativada Quimicamente. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*. 5:186-191, 2009.

COLLATTO, D. Utilização de Resíduo proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes de Indústria de Papel como Matéria-prima na Fabricação de Cerâmica Vermelha. Tese de Mestrado, PPGEM, UFRGS, 2008, pp.114.

COLOMBO, B.A. 2006. O conceito de desenvolvimento sustentável precisa ser repensado. *Cadernos IHU em formação*, 7: 11-13.

CORREA, M.L.T., MELLO, J.W., SILVA, J. Avaliação do Uso Agrícola de uma Escória de Aciaria como Corretivo da Acidez de Solos. In: 58º Congresso Anual da ABM 2003. pp. 1407-1412.

DANA, K., DEY, J., DAS, S.K. Synergistic effect of fly ash and blast furnace slag on the mechanical strength of traditional porcelain tiles. *Ceramics International*, 31:147–152, 2005.

DAS, B., PRAKASH, S., REDDY, P.S.R., MISRA, V.N. An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. *Resources Conservation e Reciclyng*. 50: 40–57, 2007.

DELLA, V.P., JUNKES, J.A., KUHN, I., HIELLA, H.G., HOTZA, D. Utilização do subproduto da recuperação metálica de escórias de aços inoxidáveis na síntese de pigmentos cerâmicos; caracterização da matéria-prima. *Cerâmica*, 51:111-116, 2005.

FERNANDES, P.F. Reaproveitamento do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria Cerâmica. Tese de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais UFSC, Florianópolis, 2002, pp.90.

FERREIRA, E.B., ZANOTTO, E.D., SCUDELLER, L.A.M. Nano Vitrocerâmica de Escória de Aciaria. *Química Nova*. 25(5):731-735, 2002.

FUSINATO, J. Estudo da Viabilidade Técnico-Ambiental para Incorporação da Escória Férrica na Pavimentação Asfáltica como Agregado Miúdo. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2004, pp.174.

GEYER, R.M.T. Estudo sobre a Potencialidade de Uso das Escórias de Aciaria como Adição em Concreto. Tese de Doutorado, PPGEM Porto Alegre, 2001, pp. 226.

GEISELER, J. Use of Steelworks Slag en Europe. *Waste Management*. 16:59-63, 1996.

GERDAU. Relatório Anual 2007. Disponível em: <http://www.gerdau.com.br/port/respsocial/index.asp> (acessado em 13/09/2008).

GOSH, S., DAS, M., CHAKRABARTI, S. GHATAK, S. Development of ceramic tiles from common clay and blast furnace slag. *Ceramics International*. 28:393–400, 2002.

GUMIERI, A.G. Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Escória de Aciaria do Processo LD como Adição em Cimentos. Tese de Doutorado, PPGEM, Porto Alegre, 2002, pp. 251.

GRAFFITTI, D.F. Avaliação do Teor de Cal Livre em Escória da Aciaria Elétrica. Tese de Mestrado, PPGEM UFGRS, Porto Alegre, 2002, pp.78

GRAFFITTI, D.F., ALVES, C.R.R., VILELA, A.C.F., MORAES, C.A.M. Determinação de Cal Livre em Escória de Aciaria Elétrica como Contribuição para Avaliação de sua Expansibilidade. *Tecnologia em Metalurgia e Matérias*. 2:24-28, 2005.

GRIGOLETTI, G., SATTTLER, M. Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. *Ambiente Construído*. 3(3):19-32, 2003.

IBS. INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. http://www.ibs.org.br/estatisticas_junho_2009.asp (acessado em 22/07/2009)

ISAIA, C.G. A Ciência e a Engenharia de Materiais na construção Civil. In: ISAIA, C.G.A. Materiais da Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, 1, pp. 1-36, 2007.

INTORNE, S.C., DIAS, D.P., DOS SANTOS JUNIOR, E.L., MONTEIRO, S. N., VIEIRA, C.M.F. Caracterização de Escória de Aciaria e Efeito da sua Granulometria nas Propriedades de uma Cerâmica Argilosa. In: 17º CBECIMat. 2006, pp. 1978-1986.

JOHN, W.M. Cimento de Escória Ativada com Silicato de Cálcio. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1995, pp.199.

JOHN, W.M, ÂNGULO, S.C Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. *Coletânea Habitare*. 4:11-71, 2003.

KAZMIERCZAK, C. S. Produtos de Cerâmica Vermelha. In: ISAIA, C. G.A. Materiais da Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, 1, pp 563-585, 2007.

KHATER, G.A. The use of Saudi slag for the production of glass-ceramic materials. *Ceramics International*. 28:59–67, 2002.

KIELING, A G., MORAES, C. A. M.; KULAKOWSKI, M. P. , KAZMIERCZAK, C. S. Influência da Segregação nas Características Físico-Químicas e Atividade Pozolânica de Cinzas de Casca de Arroz. In: XII Encontro Nacional de

Tecnologia do Ambiente Construído, 2008, v.1, pp.1-10.

KIELING, A. G. Influência da Segregação no Desempenho de Cinzas de Casca de Arroz como Pozolanas e Material Adsorvente. Tese de Mestrado, 2009, PPGEC, UNISINOS, São Leopoldo, pp.131.

KUMAR, S., KUMAR, R., BANDOPADHYAY, A. Innovative methodologies for the utilisation of wastes from metallurgical and allied industries. *Resources, Conservation and Recycling*. 48:301–314, 2006.

LATOUCHE, S. O desenvolvimento é insustentável. *Cadernos IHU em formação*, 7: 5-10, 2006.

LIND, B.B., FÄLLMAN, A.M., LARSSON, L.B. Environmental Impact of Ferrochrome Slag in Road Construction. *Waste Management*. 21:255-264, 2001.

LIDUÁRIO, A.S., FARIAS, L.A., ALBUQUERQUE, A.C., ANDRADE, M.A.S. Utilização da Escória de Alto Forno Moída no Concreto Convencional e Compactado com Rolo. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*. 2:35-39, 2005.

LIMA, J.F. Aproveitamento da Lama de Lavagem do Minério de Ferro: Estudo de Caso na Mineração Urucum – Corumbá/MS. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2002, pp.88.

LOPES, D.C. Estudo da Viabilidade de Adição de Resíduo de Pó de Fumo à Massa Cerâmica. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 2005, pp.94.

MANSO, J.M., LOSAÑEZ, M., POLANCO, J.A., GONZALEZ, J.J. Ladle Furnace Slag in Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*. setembro-outubro: 513-518, 2005.

MARGHUSSIAN, V.K., MAGHSOODIPOOR, A. Fabrication of unglazed floor tiles containing Iranian copper slags. *Ceramics International*. 25: 617-622, 1999.

MARINO, L.F.B. & BOSCH, A.O. A Expansão Térmica de Materiais Cerâmicos Parte III: Efeitos da Adição da Calcita. *Cerâmica Industrial*. 3(4-6):18-23, 1998.

MARVIN, U. B. Geology: from earth to planetary science in the twentieth century. In Oldroyd, D.R. (ed.) The earth inside and out. *Geological Society of London Special Publication*, 192: 17-57, 2002.

MASUERO, A.B. Estabilização das Escórias de Aciaria Elétrica com Vistas a Sua Utilização como Substituição ao Cimento. Tese de Doutorado, PPGEM UFRGS, Porto Alegre, 2001, pp. 267.

MASUERO, A., DAL MOLIN, D. C. C., VILELA, A. C. F. Estabilização e

Viabilidade Técnica da Utilização de Escória de Aciaria Elétrica. *Ambiente Construído*.4(2):57-81, 2004.

MELCHIADES, F.G., DEL ROVERI, C., SOTÉRIO, J., SILVA, L.L., BOSCHI, A.O. Controle Dimensional e do Formato de Revestimentos Cerâmicos. Parte I: Dimensões. *Cerâmica Industrial*. Volume? pp 27-33, 2001.

MENDES, T.C. Estudo de Viabilidade da Incorporação do Lodo de Pintura Proveniente da Estação de Tratamento da Indústria Automobilística para Produção de Cerâmica Estrutural. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2008, pp.78.

MONTANARI, R., JÚNIOR, J.M., CAMPOS, M.C.C., SOUZA, Z.M. Caracterização química de resíduos da indústria metalúrgica para fins de uso agrícola. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*. 4(1):79-88, 2008.

MONTEDO, O.R.K., REITZ, G.M., BERTAN, F.M., PICCOLI, R., HOTZA, D., NOVAES DE OLIVEIRA, A.P. Utilização de Pó de Aciaria em Massa de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*. Press. 14-17, 2003.

MORAES, M.L.V.N. Aproveitamento de Resíduo de Beneficiamento de Caulim na Produção de Porcelanato Cerâmico. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN, Natal, 2007, pp.153.

MORAES, C.A.A., BREHM, F.A., GRAFFITTI, D., VILELA, A.C.F. Estado da Arte da Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos de Aciaria Elétrica – Uma ou várias Linhas de Ação? In: 58º Congresso Anual da ABM 2002. pp. 1378-1386.

MORAES, C.A.M., BREHM, F.A. Caracterização e Reciclagem de Escória de Aciaria. In: XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 2007, pp. 49-59.

MORAES, C. A. M., KIELING, A. G., PANAZZOLO, D., BREHM, F. A., KULAKOWSKI, M. A Influência da Segregação e Caracterização no Gerenciamento e Valorização de Resíduos Sólidos Industriais. In: 63º Congresso da ABM 2008. pp. 1800-1809.

MORAES, C.A.A., CALHEIRO, D., VARGAS, M., SANTOS, C. NETO, F.A.O., PIRES, D.C. Avaliação da Minimização do Consumo de Cal em Aciaria Elétrica e sua Contribuição para a Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa In: XL Seminário de Aciaria – Internacional, 2009, pp. 443- 453.

MOREIRA, A.C.M., COSTA, D. S. Estudo do Aproveitamento da Escória de Alto Forno das Siderúrgicas de Marabá-PA para Fabricação de Material Cerâmico. In: 17º CBECIMat, 2006, pp. 2044-2053.

MORETE, G. F., PARANHOS, R.P.R., HOLANDA, J.N.F. Avaliação de Algumas

Propriedades Físico-Mecânicas de Corpos Cerâmicos Incorporados com Resíduo de Escória de Soldagem. *Revista Matéria*. 232-237, 2006.

IBS, . <http://www.ibs.org.br/mercado.asp> (acessado em 19/05/2009).

MULTISERV, <http://www.multiserv.com/slag.html> (acessado em 25/08/2009).

MURGIER, S., ZANNI, H., GOUVENOT, D. Blast furnace slag cement: a ^{29}Si and ^{27}Al NMR study. *C. R. Chimie*. 7:389–394, 2004.

NISHIGAKI, M. Producing permeable blocks and pavement bricks from molten slag. *Waste Management*. 20:185-192, 2000.

OLIVEIRA, G. E., HOLANDA, J. P. F., JÚNIOR, F. G. S. Incorporação de um Resíduo de Siderúrgica em uma Massa Cerâmica Utilizada na Produção de Cerâmica Vermelha. In: 58^o Congresso Anual da ABM, 2003, pp. 1191-1199.

OSÓRIO, E., GRAFFITTI, D., VILELA, A.C.F., PAGANSSUT, D., MANCIO, M., MASUERO, A.B., MOARES, C.A.M., ACOSTA, C.D. Expansibility Evaluation of Electric Furnace Slags as na Alternative Material to Base of Pavement. In: Fourth Japana-Brazil Symposium on Dust Processing-Enegy-Enviroment in Metalurgical Industries. 2002. pp. 239-249.

NASCIMENTO, K. A.L. Utilização de Escória Proveninete da Reciclagem do Aço em Concreto de Cimento Portland. Tese de Mestrado, USP, 2007, pp.128.

PAGNUSSAT, D.T., MASCOLO, R. , POLISSENI, A.E., MASUERO, A.G. Avaliação da Expansibilidade de Escórias de Aciaria de Diferentes Siderúrgicas Brasileiras. In: 63^o Congresso Anual da ABM, 2008, pp. 3262-3273.

PASCHOAL, J. A. A. Estudo de Parâmetros de Qualidade para a Cerâmica Estrutural Vermelha. Tese de Mestrado, Engenharia Civil, UFSCAR, São Carlos, 2003.

PEREIRA, R. L. Resíduos Sólidos Industriais: Uma Fonte Alternativa na Elaboração de Materiais Cerâmicos de Baixa Densidade. Tese de Mestrado, DEM, UDESC, Joinville, 2002. pp. 106.

POLESE, M. O., CARREIRO, G.L., SILVA, M.G., SILVA, M.R. Caracterização Microestrutural da Escória de Aciaria. *Revista Matéria*. 11:444 - 454, 2006.

PUREZA, J.C.C. Utilização de Resíduos Industriais de Baixa Granulometria em Massas Cerâmicas de Argila Vermelha: Aspectos Tecnológicos e Ambientais, Tese de Mestrado, PPGEM UFRGS, Porto Alegre, 2004, pp.148.

RAPOSO, C.O.L. Estudo Experimental de Compactação e Expansão de uma Escória de Aciaria LD para Uso em Pavimentação. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFES, Vitória, 2005, pp.164.

RAUPP-PEREIRA, F.,HOTZA, D., SEGADÃES,A.M., LABRINCHA, J.A. Ceramic formulations prepared with industrial wastes and natural sub-products. *Ceramics International*. 32:173–179, 2006.

RESCHKE, J. S. Escória Granulada de Fundição Utilizada como Substituição ao Cimento em Concretos: Avaliação de Propriedades Relacionadas com a Durabilidade. Tese de Mestrado, PPGEM UFRGS, Porto Alegre, 2003, pp. 174.

RIZZO, E. M.S., Introdução aos Porcessos de Refino Secundário dos Aços. ABM. São Paulo, 2006, pp.102.

RIZZO, E. M.S., Introdução aos Porcessos de Refino Primário dos Aços nos Fornos Elétricos a Arco. ABM. São Paulo, 2006, pp.102.

RODHE, L. Escória de Aciaria Elétrica em camadas granulares de pavimentos – Estudo Laboratorial, Tese de Mestrado, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 2002, pp. 118.

RODRIGUEZ, A., MANSO, J. M., ARAGON, A., GONZALEZ, J.J. Strength and workability of masonry mortars manufactured with ladle furnace slag. *Resources, Conservation and Recycling*. Press. 2009.

ROSA, M. A. Caracterização da Incorporação da Escória de Aço Inoxidável em Materiais Cerâmicos quanto a Imobilização de Cromo. Tese de Mestrado, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 2001, pp. 129.

SANTOS, I.S.S; SILVA, N.I.W. Manual de Cerâmica Vermelha. Porto Alegre: SEBRAE/RS. 1995. 56p.

SANTOS, P. S. Tecnologia de Argilas: fundamentos. São Paulo: ed. Blücher LTDA. v. 1, cap. 1 – 12, 1989.

SETIÉN, J., HERÁNDEZ, D., GONZÁLEZ, J.J. Characterization of ladle furnace basic slag for use as a construction material. *Construction and Building Materials*. 23:1788–1794, 2009.

SHI, C. Characteristics and cementitious properties of ladle slag fines from steel production. *Cement and Concrete Research*. 32:459–462, 2002.

SILVA, F. G. Estudo da Recuperação de Metais Presentes na Escória de Aço Inox Fina por Beneficiamento Magnético. Tese de Doutorado, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 2008, pp.95.

SILVA FILHO, A F. Contribuição ao Estudo do desempenho de Concreto Produzido com Agregado Graúdo de Escória de Ferro-Cromo. Tese de Mestrado, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 2001, pp. 129.

SILVEIRA, N.O., SILVA, M.V.A.M., AGRIZZI, E.J., VARGAS, M.R., LEITE,

P.P.N., MENDONÇA, R.L. Acerita – Escória de Aciaria LD com Redução de Expansão. In: 58º Congresso Anual da ABM. pp. 1125- 1133.

STEEL SLAG TECHNICAL COMMITTEE. Steel Slag Aggregates for Hot-Mix Asphalt Concrete., SSTC, 33p, 1996.

SOBOLEV, K. Mechano-chemical modification of cement with high volumes of blast furnace slag. *Cement & Concrete Composites*. 27:848–853, 2005.

SOUZA, C.M., SILVA, C.S.W., LIMA, M.S.M., JACOMINO, V.M.F., CASTRO, L.F.A., RIBEIRO, E.D.L. Efeito do Uso de Escória Siderúrgica em Substituição ao Calcário Agrícola sobre a Cultura da Cana-de-Açúcar. In: 58º Congresso Anual da ABM 2003. pp. 1398-1405.

TEIXEIRA, M. G. Aplicação de Conceitos da Ecologia Industrial para a Produção de Materiais Ecológicos: O Exemplo do Resíduo de Madeira. Tese de Mestrado,DEA, UFBA, 2005.pp. 159.

TSAKIRIDIS,P.E.,PAPADIMITRIOU,G.D., TSIVILIS, S., KORONEOS, C. Utilization of steel slag for Portland cement clinker production. *Journal of Hazardous Materials*. 152:805–811, 2008.

TOLEDO, E.B.S. Método de Utilização de Areia de Fundição e Resíduos de Poeira de Jateamento (Microesferas de vidro) para Produzir Cerâmica Vermelha. Tese de Mestrado, UFPR, Curitiba, 2006, pp.110.

TOYA, T., NAKAMURA,A., KAMESHIMA,Y., NAKAJIMA,A., OKADA, K. Glass-ceramics prepared from sludge generated by a water purification plant. *Ceramics International*. 33:573–577, 2007.

VEIGA, J. E. Desenvolvimento Sustentável – o desafio do século XXI. Garamount Ltda, 2005, pp. 226.

VERÇOSA,E.J. Materiais Cerâmicos. In: MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 5, 1984, Rio de Janeiro,526-570.

VICENZI, J. & BERGMANN, C.P. Adição de Chamota em uma Massa Cerâmica à Base de Argila Vermelha: Efeito na Secagem Pré-Queima. *Cerâmica Industrial*, 14:2- 16-21, 2009.

VIEIRA, C. M.F.,DIAS, C. A M, MOTHÉ, A .V., SÁNCHEZ, R., MONTEIRO, S.N. Incorporação de Escória de Aciaria em Cerâmica Vermelha. In: 53º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007, pp. 381-387.

VILELA, A.C.F., MORAES, C.A.M. Curso sobre Escórias de Aciaria Elétrica. Apostila Lasid.UFRGS. 1998.

VILELA, Antonio Cezar Faria, MORAES, C. A. M., MASUERO, Angela Borges,

BERNARDES, Andrea, BERGMANN, Carlos. Reciclagem e Reaproveitamento de Escórias de Aço Inoxidável, 2004. (Relatório de pesquisa) pp. 150.

WANG, MOON-CHIN, HSU, CHIA-CHAN, HON, MIN-HSIUNG. The reaction between the magnesia–chrome brick and the molten slag of MgO–Al₂O₃–SiO₂–CaO–FeO and the resulting microstructure. *Ceramics International*. 35:1501–1508, 2009.

ZETTERMANN, L. F. Caracterização da Escória de Aço inoxidável com Vistas a seu Reaproveitamento no Processo de Produção do Aço. Tese de Mestrado. PPGEM. Porto Alegre, 2001, pp. 68.

ANEXOS

ANEXO 1
FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X
ARGILA E ESCÓRIA

Documento	RELATÓRIO DE ENSAIO	Número	26995/98575
-----------	----------------------------	--------	--------------------

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e aplicam-se exclusivamente ao(s) item(ns) ensaiado(s) ou calibrado(s).
Este documento somente poderá ser publicado na íntegra.

ENSAIO QUÍMICO

Cliente: UNISINOS – UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
PROJETO: INOVAÇÃO EM ENGENHARIA
Av. Unisinos, 950
93022-000 – São Leopoldo, RS

Item ensaiado: uma amostra entregue à CIENTEC pelo Cliente e identificada como "Argila".

Data do recebimento do item: 13 de maio de 2009.

Período da realização dos ensaios: 14 a 15 de maio de 2009.

Método: a análise foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios X, em espectrômetro de fluorescência de raios X, marca Rigaku, modelo RIX 3100.

RESULTADOS:

Através da análise química qualitativa detectou-se a presença dos seguintes elementos:

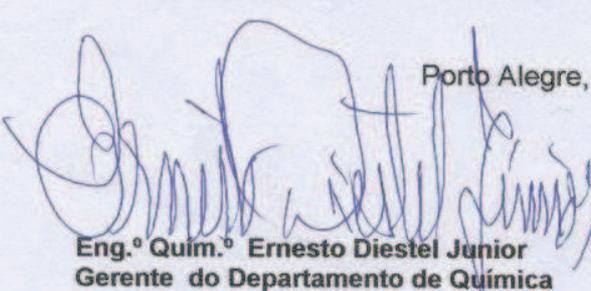
Elemento em maior quantidade: silício(Si) e ferro(Fe).

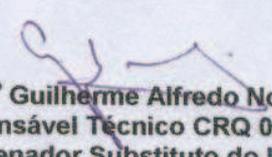
Elementos em menor quantidade: alumínio(Al), potássio(K), cálcio(Ca), titânio(Ti) e manganês(Mn).

Elementos em quantidade traço: magnésio(Mg), rubídio(Rb), estrôncio(Sr), fósforo(P) e zircônio(Zr).

Observação: elementos com número atômico inferior a 11(Z<11) não foram pesquisados.

Porto Alegre, 15 de maio de 2009.


Eng.º Quím.º Ernesto Diestel Junior
Gerente do Departamento de Química


Quím.º Guilherme Alfredo Noschang
Responsável Técnico CRQ 05200689 – 5.ª Região
Coordenador Substituto do Laboratório de Análises Inorgânicas

Sample : Argila O-Brasil
 Operator: Daiane
 Comment : Marilia-qualitativo
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 11:22:37

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	92-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	40
Na-Sc	Rh 15	811-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	46.738 %	(0.074)	Quan-FP	SiKa	5.0323
Fe	19.166 %	(0.030)	Quan-FP	FeKa	42.7022
Al	14.666 %	(0.059)	Quan-FP	AlKa	0.8048
K	12.868 %	(0.036)	Quan-FP	K Ka	1.6829
S	2.742 %	(0.015)	Quan-FP	S Ka	0.6286
Ti	2.390 %	(0.019)	Quan-FP	TiKa	1.9794
Zr	0.730 %	(0.003)	Quan-FP	ZrKa	6.9571
Sr	0.184 %	(0.002)	Quan-FP	SrKa	1.5309
Mn	0.176 %	(0.006)	Quan-FP	MnKa	0.3059
Rb	0.148 %	(0.002)	Quan-FP	RbKa	1.1285
Zn	0.082 %	(0.003)	Quan-FP	ZnKa	0.2914
Y	0.058 %	(0.002)	Quan-FP	Y Ka	0.5152
Ga	0.052 %	(0.003)	Quan-FP	GaKa	0.2217

Sample : escória D1
 Operator: *Davone Colhoun*
 Comment : Oxide, Air, 2chan *marília.*
 Group : easy-He-Oxide
 Date : 2009-07-16 14:06:22

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	47-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 99	39
Na-Sc	Rh 15	297-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe2O3	35.264 %	(0.039)	Quan-FP	FeKa	179.3298
CaO	26.652 %	(0.037)	Quan-FP	CaKa	17.8820
SiO2	15.241 %	(0.057)	Quan-FP	SiKa	2.5479
Al2O3	4.976 %	(0.055)	Quan-FP	AlKa	0.3416
Cr2O3	4.554 %	(0.016)	Quan-FP	CrKa	17.7531
MgO	4.454 %	(0.083)	Quan-FP	MgKa	0.1267
MnO	4.017 %	(0.015)	Quan-FP	MnKa	19.5957
SO3	1.810 %	(0.015)	Quan-FP	S Ka	0.9100
ZnO	1.118 %	(0.006)	Quan-FP	ZnKa	8.6154
TiO2	0.530 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	1.0191
K2O	0.457 %	(0.007)	Quan-FP	K Ka	0.2795
NiO	0.193 %	(0.004)	Quan-FP	NiKa	0.9430
SrO	0.165 %	(0.002)	Quan-FP	SrKa	3.0362
CuO	0.142 %	(0.003)	Quan-FP	CuKa	0.9285
PbO	0.142 %	(0.004)	Quan-FP	PbLb1	0.8108
ZrO2	0.104 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.9331
NbO	0.085 %	(0.001)	Quan-FP	NbKa	1.9106
MoO3	0.060 %	(0.001)	Quan-FP	MoKa	1.0953
V2O5	0.030 %	(0.006)	Quan-FP	V Ka	0.0722
Ac	0.008 %	(0.002)	Quan-FP	AcLa	0.0734

Sample : escória D45
 Operator: Daiane Calheiro
 Comment : Marília
 Group : easy-He-Oxide
 Date : 2009-07-16 14:26:09

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	51-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	40
Na-Sc	Rh 15	285-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 99	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe2O3	36.208 %	(0.037)	Quan-FP	FeKa	183.4755
CaO	35.967 %	(0.042)	Quan-FP	CaKa	25.3314
SiO2	12.840 %	(0.051)	Quan-FP	SiKa	2.3594
Al2O3	3.334 %	(0.047)	Quan-FP	AlKa	0.2476
MgO	3.156 %	(0.074)	Quan-FP	MgKa	0.0955
MnO	2.588 %	(0.011)	Quan-FP	MnKa	12.0252
SO3	2.285 %	(0.014)	Quan-FP	S Ka	1.2795
Cr2O3	2.233 %	(0.011)	Quan-FP	CrKa	8.2031
TiO2	0.677 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	1.2004
SrO	0.168 %	(0.002)	Quan-FP	SrKa	3.2771
K2O	0.144 %	(0.006)	Quan-FP	K Ka	0.0964
ZrO2	0.091 %	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	1.7974
NiO	0.083 %	(0.003)	Quan-FP	NiKa	0.4161
ZnO	0.081 %	(0.002)	Quan-FP	ZnKa	0.6475
CuO	0.057 %	(0.002)	Quan-FP	CuKa	0.3867
MoO3	0.043 %	(0.001)	Quan-FP	MoKa	0.8500
NbO	0.023 %	(0.001)	Quan-FP	NbKa	0.5462
V2O5	0.021 %	(0.006)	Quan-FP	V Ka	0.0469

Sample : #4 escória úmida *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia-qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 11:48:41

Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: He Collimator: 10(mm) Spin: Off

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	86-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	560-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	41

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Ca	58.017 %	(0.055)	Quan-FP	CaKa	19.6679
Fe	16.399 %	(0.030)	Quan-FP	FeKa	34.6455
Si	5.537 %	(0.025)	Quan-FP	SiKa	1.0246
Mn	5.261 %	(0.020)	Quan-FP	MnKa	8.9551
Cr	3.533 %	(0.018)	Quan-FP	CrKa	4.8861
S	2.965 %	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.8831
Al	2.593 %	(0.030)	Quan-FP	AlKa	0.1742
Mg	1.283 %	(0.043)	Quan-FP	MgKa	0.0307
Zn	1.123 %	(0.006)	Quan-FP	ZnKa	4.2066
Sr	1.081 %	(0.004)	Quan-FP	SrKa	9.0371
Ba	0.577 %	(0.042)	Quan-FP	BaLa	0.1462
K	0.462 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka	0.1479
Ti	0.420 %	(0.013)	Quan-FP	TiKa	0.3250
Cu	0.191 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	0.6113
Nb	0.188 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	1.8495
Zr	0.185 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.7775
Pb	0.185 %	(0.005)	Quan-FP	PbLb1	0.4404

* #4 ESCÓRIA D1

Sample : #6 Escória Úmida *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 12:35:27

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	61-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	40
Na-Sc	Rh 15	470-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	58.340 %	(0.052)	Quan-FP	FeKa	201.1673
Ca	25.803 %	(0.039)	Quan-FP	CaKa	9.1910
Si	4.692 %	(0.115)	Quan-FP	SiKa	0.0497
Mn	4.233 %	(0.016)	Quan-FP	MnKa	12.3809
Zn	2.448 %	(0.011)	Quan-FP	ZnKa	8.9800
Cr	1.592 %	(0.010)	Quan-FP	CrKa	4.6281
Ti	0.640 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.9644
S	0.599 %	(0.016)	Quan-FP	S Ka	0.0655
K	0.537 %	(0.010)	Quan-FP	K Ka	0.1311
Sr	0.286 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.4103
Cu	0.246 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	0.7684
Ni	0.193 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.4539
Pb	0.172 %	(0.007)	Quan-FP	PbLb1	0.4069
Ba	0.147 %	(0.034)	Quan-FP	BaLa	0.0735
Mo	0.038 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.4031
Nb	0.035 %	(0.001)	Quan-FP	NbKa	0.3569

* # 6 ESCÓRIA D1

Sample : #12 Escória Úmida *
 Operator: Daiane
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 12:47:45

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	73-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	557-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	47.364 %	(0.049)	Quan-FP	FeKa	127.7119
Ca	33.207 %	(0.045)	Quan-FP	CaKa	9.5817
Si	6.992 %	(0.132)	Quan-FP	SiKa	0.0668
Mn	4.664 %	(0.018)	Quan-FP	MnKa	10.4939
Cr	2.455 %	(0.013)	Quan-FP	CrKa	5.1340
Zn	1.833 %	(0.009)	Quan-FP	ZnKa	6.0841
S	0.888 %	(0.018)	Quan-FP	S Ka	0.0837
Ba	0.717 %	(0.035)	Quan-FP	BaLa	0.2595
K	0.412 %	(0.010)	Quan-FP	K Ka	0.0841
Ti	0.313 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.3411
Sr	0.298 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.2849
Cu	0.232 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	0.6532
Ni	0.223 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.4720
Ac	0.180 %	(0.005)	Quan-FP	AcLa	0.6023
Zr	0.112 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	0.9963
Nb	0.060 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	0.5581
Mo	0.051 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.4983

* # 12 ESCÓRIA D1

Sample : #20 Escória Úmida *
 Operator: Daiane
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 12:59:37

Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: Air Collimator: 10(mm) Spin: Off

 Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

 Ti-U Rh 50 66-Auto ---- 0 - 40 0.00-40.00 Live- 100 39
 Na-Sc Rh 15 597-Auto ---- 0 - 20 0.00- 4.40 Live- 99 40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
Fe	40.106 %	(0.050)	Quan-FP	FeKa	97.1454
Ca	35.395 %	(0.047)	Quan-FP	CaKa	9.3950
Si	6.759 %	(0.127)	Quan-FP	SiKa	0.0612
Mn	6.019 %	(0.023)	Quan-FP	MnKa	12.3325
Cr	4.380 %	(0.020)	Quan-FP	CrKa	8.0228
Zn	2.920 %	(0.012)	Quan-FP	ZnKa	9.3715
S	1.166 %	(0.019)	Quan-FP	S Ka	0.1039
Ba	0.635 %	(0.044)	Quan-FP	BaLa	0.2042
Ti	0.514 %	(0.014)	Quan-FP	TiKa	0.5000
K	0.419 %	(0.011)	Quan-FP	K Ka	0.0796
Ni	0.341 %	(0.007)	Quan-FP	NiKa	0.7050
Sr	0.320 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.3220
Cu	0.308 %	(0.006)	Quan-FP	CuKa	0.8433
Ac	0.255 %	(0.006)	Quan-FP	AcLa	0.8122
Zr	0.153 %	(0.003)	Quan-FP	ZrKa	1.2814
Nb	0.137 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	1.1941
Se	0.116 %	(0.003)	Quan-FP	SeKa	0.5816
Mo	0.057 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.5236

* #20 Escória D1

Sample : #30 Escória Úmida *
 Operator: Daiane
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 13:11:16

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	64-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 99	40
Na-Sc	Rh 15	519-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 99	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	50.424 %	(0.048)	Quan-FP	FeKa	157.9545
Ca	28.194 %	(0.041)	Quan-FP	CaKa	9.0606
Si	6.892 %	(0.132)	Quan-FP	SiKa	0.0704
Mn	4.643 %	(0.016)	Quan-FP	MnKa	12.2812
Zn	3.383 %	(0.012)	Quan-FP	ZnKa	12.3136
Cr	2.475 %	(0.013)	Quan-FP	CrKa	6.2290
S	0.970 %	(0.018)	Quan-FP	S Ka	0.0985
Ba	0.793 %	(0.032)	Quan-FP	BaLa	0.3458
K	0.465 %	(0.010)	Quan-FP	K Ka	0.1031
Pb	0.448 %	(0.009)	Quan-FP	PbLb1	1.0376
Ni	0.332 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.7790
Cu	0.295 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	0.9162
Sr	0.216 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	1.7613
Ti	0.206 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.2708
Zr	0.118 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.1175
Nb	0.089 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	0.8828
Mo	0.055 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.5707

30 ESCÓRIA D1

Sample : #40 escória úmida *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 14:04:21

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	63-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	41
Na-Sc	Rh 15	443-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 99	40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	39.097 %	(0.045)	Quan-FP	FeKa	119.6743
Ca	30.770 %	(0.041)	Quan-FP	CaKa	13.1298
Si	9.995 %	(0.036)	Quan-FP	SiKa	1.8361
Mn	4.481 %	(0.018)	Quan-FP	MnKa	11.6502
Al	3.367 %	(0.038)	Quan-FP	AlKa	0.2278
Cr	3.045 %	(0.015)	Quan-FP	CrKa	7.2806
Zn	2.518 %	(0.011)	Quan-FP	ZnKa	9.7446
S	1.684 %	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.0538
Mg	1.352 %	(0.048)	Quan-FP	MgKa	0.0331
K	0.758 %	(0.010)	Quan-FP	K Ka	0.2641
Ba	0.686 %	(0.037)	Quan-FP	BaLa	0.3054
Ti	0.591 %	(0.012)	Quan-FP	TiKa	0.8017
Ni	0.380 %	(0.007)	Quan-FP	NiKa	0.9616
Cu	0.380 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	1.2625
Pb	0.286 %	(0.008)	Quan-FP	PbLb1	0.6938
Sr	0.273 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.3354
Zr	0.159 %	(0.003)	Quan-FP	ZrKa	1.5677
Nb	0.098 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	1.0059
Mo	0.080 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.8679

* #40 ESCÓRIA D1

Sample : #50 Escória Úmida *
 Operator: Daiane
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 14:18:35

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	58-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	40
Na-Sc	Rh 15	414-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	42.478 %	(0.047)	Quan-FP	FeKa	140.1807
Ca	27.976 %	(0.039)	Quan-FP	CaKa	12.6416
Si	10.410 %	(0.038)	Quan-FP	SiKa	1.9754
Mn	3.627 %	(0.016)	Quan-FP	MnKa	10.3393
Cr	3.392 %	(0.015)	Quan-FP	CrKa	9.0398
Al	3.341 %	(0.038)	Quan-FP	AlKa	0.2334
Zn	2.616 %	(0.011)	Quan-FP	ZnKa	10.4709
Mg	1.782 %	(0.052)	Quan-FP	MgKa	0.0451
S	1.393 %	(0.009)	Quan-FP	S Ka	0.8997
K	0.854 %	(0.010)	Quan-FP	K Ka	0.3110
Ti	0.616 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.9234
Ni	0.312 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.8144
Cu	0.302 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	1.0356
Sr	0.250 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.2196
Pb	0.235 %	(0.008)	Quan-FP	PbLb1	0.5911
Zr	0.156 %	(0.003)	Quan-FP	ZrKa	1.5953
Nb	0.122 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	1.3026
Mo	0.081 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.9047
Ac	0.058 %	(0.005)	Quan-FP	AcLa	0.2276

* #50 ESCÓRIA D1

Sample : #70 Escória Úmida *
 Operator: Daiane
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 14:39:13

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	64-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	40
Na-Sc	Rh 15	454-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	33.021 %	(0.041)	Quan-FP	FeKa	98.2318
Ca	32.965 %	(0.042)	Quan-FP	CaKa	13.3896
Si	12.238 %	(0.039)	Quan-FP	SiKa	2.2793
Mn	4.239 %	(0.018)	Quan-FP	MnKa	10.6847
Cr	3.773 %	(0.016)	Quan-FP	CrKa	8.4383
Zn	3.590 %	(0.012)	Quan-FP	ZnKa	14.4678
Al	3.404 %	(0.042)	Quan-FP	AlKa	0.2348
S	2.079 %	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.2724
Mg	1.364 %	(0.047)	Quan-FP	MgKa	0.0338
K	1.120 %	(0.011)	Quan-FP	K Ka	0.3772
Ti	0.669 %	(0.012)	Quan-FP	TiKa	0.8437
Cu	0.360 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	1.2459
Ni	0.308 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.8158
Ac	0.306 %	(0.006)	Quan-FP	AcLa	1.1770
Sr	0.280 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.4665
Nb	0.114 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	1.2035
Zr	0.098 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	0.9997
Mo	0.072 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.7970

* # 70 ESCÓRIA D1

Sample : #100 Escória Úmida *
 Operator: Daiane
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 15:11:18

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	55-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 99	41
Na-Sc	Rh 15	366-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	44.608 %	(0.047)	Quan-FP	FeKa	163.4160
Ca	28.311 %	(0.039)	Quan-FP	CaKa	14.4099
Si	7.374 %	(0.033)	Quan-FP	SiKa	1.5206
Mn	4.240 %	(0.017)	Quan-FP	MnKa	13.3700
Al	3.282 %	(0.039)	Quan-FP	AlKa	0.2474
Zn	3.256 %	(0.012)	Quan-FP	ZnKa	14.0171
Cr	2.991 %	(0.014)	Quan-FP	CrKa	8.9221
S	1.588 %	(0.009)	Quan-FP	S Ka	1.1639
Mg	1.446 %	(0.050)	Quan-FP	MgKa	0.0392
K	0.680 %	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.2792
Ti	0.550 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.9206
Pb	0.382 %	(0.008)	Quan-FP	PbLb1	1.0245
Cu	0.339 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	1.2521
Ni	0.335 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.9452
Sr	0.261 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.4632
Zr	0.104 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.1269
Mo	0.083 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.9848
Nb	0.082 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	0.9257
Ac	0.050 %	(0.005)	Quan-FP	AcLa	0.2072
V	0.039 %	(0.006)	Quan-FP	V Ka	0.0888

* # 100 ESCÓRIA D 1

Sample : #140 Escória Úmida *
 Operator: Daiane
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 15:25:06

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	56-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	41
Na-Sc	Rh 15	359-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 99	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	40.510 %	(0.045)	Quan-FP	FeKa	148.8520
Ca	30.729 %	(0.040)	Quan-FP	CaKa	16.3793
Si	7.233 %	(0.032)	Quan-FP	SiKa	1.5811
Mn	4.632 %	(0.018)	Quan-FP	MnKa	14.6853
Cr	3.827 %	(0.016)	Quan-FP	CrKa	11.2383
Al	3.536 %	(0.040)	Quan-FP	AlKa	0.2831
Zn	3.064 %	(0.011)	Quan-FP	ZnKa	14.0832
Mg	1.522 %	(0.051)	Quan-FP	MgKa	0.0441
S	1.437 %	(0.009)	Quan-FP	S Ka	1.1208
Ba	1.126 %	(0.033)	Quan-FP	BaLa	0.6211
K	0.582 %	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.2536
Ni	0.447 %	(0.007)	Quan-FP	NiKa	1.3487
Cu	0.321 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	1.2687
Ti	0.296 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.4984
Sr	0.289 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.9388
Ac	0.262 %	(0.005)	Quan-FP	AcLa	1.1660
Nb	0.086 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	1.0511
Mo	0.078 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	1.0003
Zr	0.021 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	0.2501

* # 140 ESCÓRIA D1

Sample : #200 Escória Úmida *
 Operator: Daiane
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 15:39:34

Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: He Collimator: 10(mm) Spin: Off

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	51-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	359-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	41.451 %	(0.047)	Quan-FP	FeKa	155.4997
Ca	31.774 %	(0.041)	Quan-FP	CaKa	17.0792
Si	5.666 %	(0.029)	Quan-FP	SiKa	1.2395
Mn	4.603 %	(0.018)	Quan-FP	MnKa	14.7999
Al	3.776 %	(0.040)	Quan-FP	AlKa	0.3029
Zn	3.552 %	(0.012)	Quan-FP	ZnKa	16.3425
Cr	3.361 %	(0.016)	Quan-FP	CrKa	10.0123
Mg	1.540 %	(0.052)	Quan-FP	MgKa	0.0443
S	1.508 %	(0.009)	Quan-FP	S Ka	1.1978
Ti	0.540 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.9051
K	0.536 %	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.2364
Cu	0.333 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	1.3172
Sr	0.327 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	3.2778
Ni	0.321 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.9701
Pb	0.310 %	(0.008)	Quan-FP	PbLb1	0.8829
Zr	0.112 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.2956
Nb	0.090 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	1.0843
Mo	0.086 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	1.0893
Ac	0.073 %	(0.005)	Quan-FP	AcLa	0.3214
V	0.042 %	(0.006)	Quan-FP	V Ka	0.0949

* # 200 ESCÓRIA D1

Sample : #270 Escória Úmida *
 Operator: Daiane
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 15:55:46

Measurement Condition

Instrument: EDX-720	Atmosphere: He	Collimator: 10(mm)	Spin: Off				
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	56-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	40
Na-Sc	Rh 15	347-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	41.046 %	(0.042)	Quan-FP	FeKa	162.8011
Ca	31.516 %	(0.040)	Quan-FP	CaKa	18.2877
Si	5.589 %	(0.028)	Quan-FP	SiKa	1.3043
Mn	4.848 %	(0.017)	Quan-FP	MnKa	16.6252
Cr	3.927 %	(0.015)	Quan-FP	CrKa	12.4715
Al	3.543 %	(0.039)	Quan-FP	AlKa	0.3017
Zn	3.355 %	(0.011)	Quan-FP	ZnKa	16.4741
Mg	2.060 %	(0.055)	Quan-FP	MgKa	0.0636
S	1.259 %	(0.008)	Quan-FP	S Ka	1.0727
K	0.465 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka	0.2213
Ba	0.464 %	(0.030)	Quan-FP	BaLa	0.2749
Ti	0.459 %	(0.010)	Quan-FP	TiKa	0.8293
Cu	0.339 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	1.4322
Ni	0.319 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	1.0293
Sr	0.294 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	3.1709
Pb	0.196 %	(0.007)	Quan-FP	PbLb1	0.5973
Ac	0.117 %	(0.005)	Quan-FP	AcLa	0.5548
Mo	0.071 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.9610
Nb	0.069 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	0.8941
Zr	0.064 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	0.7930

* # 270 ESCÓRIA D1

Sample : Fundo Escória Umid *
 Operator: Daiane
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 16:11:09

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	54-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	335-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	35.687 %	(0.042)	Quan-FP	FeKa	134.7535
Ca	35.604 %	(0.043)	Quan-FP	CaKa	20.0360
Mn	5.857 %	(0.020)	Quan-FP	MnKa	19.0289
Si	5.418 %	(0.028)	Quan-FP	SiKa	1.2873
Cr	4.614 %	(0.017)	Quan-FP	CrKa	13.4436
Zn	3.532 %	(0.011)	Quan-FP	ZnKa	17.5542
Al	3.250 %	(0.038)	Quan-FP	AlKa	0.2809
Mg	1.706 %	(0.053)	Quan-FP	MgKa	0.0530
S	1.357 %	(0.008)	Quan-FP	S Ka	1.1688
Ti	0.658 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	1.0905
Pb	0.479 %	(0.008)	Quan-FP	PbLb1	1.4691
K	0.447 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka	0.2108
Sr	0.370 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	3.9862
Ni	0.338 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	1.1035
Cu	0.325 %	(0.005)	Quan-FP	CuKa	1.3903
Zr	0.140 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.7383
Mo	0.088 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	1.1926
Nb	0.085 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	1.0996
Ac	0.046 %	(0.005)	Quan-FP	AcLa	0.2167

* FUNDO ESCÓRIA D1

Sample : #4 escória seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 16:28:23

Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: He Collimator: 10(mm) Spin: Off

 Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

 Ti-U Rh 50 128-Auto ---- 0 - 40 0.00-40.00 Live- 100 40
 Na-Sc Rh 15 811-Auto ---- 0 - 20 0.00- 4.40 Live- 99 40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
Fe	53.026 %	(0.049)	Quan-FP	FeKa	90.9899
Ca	31.397 %	(0.040)	Quan-FP	CaKa	7.7496
Si	6.346 %	(0.030)	Quan-FP	SiKa	0.6362
S	2.456 %	(0.011)	Quan-FP	S Ka	0.8800
Al	1.846 %	(0.030)	Quan-FP	AlKa	0.0666
Mn	1.699 %	(0.011)	Quan-FP	MnKa	2.4825
Cr	1.274 %	(0.009)	Quan-FP	CrKa	1.8202
Mg	1.075 %	(0.046)	Quan-FP	MgKa	0.0139
Tm	0.394 %	(0.061)	Quan-FP	TmLa	0.2045
Sr	0.193 %	(0.002)	Quan-FP	SrKa	0.8600
K	0.133 %	(0.007)	Quan-FP	K Ka	0.0266
Ni	0.108 %	(0.005)	Quan-FP	NiKa	0.1340
Zr	0.054 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	0.2779

* # 4 ESCÓRIA D45

Sample : #6 Escória seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 16:41:44

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	73-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	439-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Ca	51.501 %	(0.052)	Quan-FP	CaKa	22.2600
Fe	29.907 %	(0.038)	Quan-FP	FeKa	82.5845
Si	7.564 %	(0.030)	Quan-FP	SiKa	1.6318
Mn	2.787 %	(0.014)	Quan-FP	MnKa	6.1620
Al	2.400 %	(0.031)	Quan-FP	AlKa	0.1878
S	1.543 %	(0.008)	Quan-FP	S Ka	1.1480
Cr	1.246 %	(0.011)	Quan-FP	CrKa	2.3682
Mg	1.115 %	(0.041)	Quan-FP	MgKa	0.0310
Ti	0.805 %	(0.013)	Quan-FP	TiKa	0.8404
Sr	0.391 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	3.8033
K	0.369 %	(0.013)	Quan-FP	K Ka	0.3449
Zr	0.112 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.2583
Nb	0.083 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	0.9671
Zn	0.075 %	(0.003)	Quan-FP	ZnKa	0.3136
Cu	0.053 %	(0.003)	Quan-FP	CuKa	0.1901
V	0.050 %	(0.007)	Quan-FP	V Ka	0.0713

* # 6 ESCÓRIA D45

Sample : #12 Escória seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 16:53:02

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	78-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	519-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 99	40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Ca	44.863 %	(0.049)	Quan-FP	CaKa	16.1591
Fe	33.984 %	(0.042)	Quan-FP	FeKa	83.7990
Si	10.613 %	(0.035)	Quan-FP	SiKa	1.8683
Mn	2.524 %	(0.014)	Quan-FP	MnKa	5.0273
Al	2.389 %	(0.031)	Quan-FP	AlKa	0.1539
S	1.702 %	(0.010)	Quan-FP	S Ka	0.9898
Mg	1.425 %	(0.046)	Quan-FP	MgKa	0.0331
Cr	1.075 %	(0.010)	Quan-FP	CrKa	1.8879
K	0.596 %	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.1882
Tm	0.369 %	(0.044)	Quan-FP	TmLa	0.3476
Sr	0.341 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.7543
Zn	0.119 %	(0.003)	Quan-FP	ZnKa	0.4189

* # 12 ESCÓRIA D45

Sample : #20 Escória seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 17:05:56

Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: He Collimator: 10(mm) Spin: Off

 Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

 Ti-U Rh 50 51-Auto ---- 0 - 40 0.00-40.00 Live- 100 40
 Na-Sc Rh 15 391-Auto ---- 0 - 20 0.00- 4.40 Live- 100 40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
Fe	42.815 %	(0.048)	Quan-FP	FeKa	160.2810
Ca	34.319 %	(0.041)	Quan-FP	CaKa	17.6405
Si	6.063 %	(0.027)	Quan-FP	SiKa	1.4066
Mn	5.870 %	(0.020)	Quan-FP	MnKa	18.0715
Zr	4.372 %	(0.009)	Quan-FP	ZrKa	51.4894
Al	1.753 %	(0.027)	Quan-FP	AlKa	0.1469
S	1.579 %	(0.009)	Quan-FP	S Ka	1.1990
Cr	1.100 %	(0.009)	Quan-FP	CrKa	3.1511
Mg	0.911 %	(0.039)	Quan-FP	MgKa	0.0274
Ti	0.494 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.7857
Sr	0.261 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.7195
K	0.158 %	(0.007)	Quan-FP	K Ka	0.0663
Cu	0.109 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	0.4286
Zn	0.078 %	(0.003)	Quan-FP	ZnKa	0.3589
Ni	0.069 %	(0.004)	Quan-FP	NiKa	0.2026
Nb	0.026 %	(0.001)	Quan-FP	NbKa	0.3207
Y	0.021 %	(0.002)	Quan-FP	Y Ka	0.2367

* #20 ESCÓRIA D45

Sample : #30 Escória seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 17:17:18

Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: He Collimator: 10(mm) Spin: Off

 Analyte TG kV uA FI Acq. (keV) Anal. (keV) Time(sec) DT(%)

 Ti-U Rh 50 51-Auto ---- 0 - 40 0.00-40.00 Live- 100 39
 Na-Sc Rh 15 366-Auto ---- 0 - 20 0.00- 4.40 Live- 100 39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	49.190 %	(0.051)	Quan-FP	FeKa	184.4397
Ca	31.256 %	(0.040)	Quan-FP	CaKa	16.8750
Si	6.038 %	(0.029)	Quan-FP	SiKa	1.3412
Mn	4.056 %	(0.017)	Quan-FP	MnKa	12.9288
Cr	1.925 %	(0.012)	Quan-FP	CrKa	5.9039
Al	1.898 %	(0.030)	Quan-FP	AlKa	0.1517
Mg	1.707 %	(0.050)	Quan-FP	MgKa	0.0493
Zr	1.616 %	(0.006)	Quan-FP	ZrKa	18.5675
S	1.236 %	(0.008)	Quan-FP	S Ka	0.9615
Ti	0.480 %	(0.010)	Quan-FP	TiKa	0.8169
Sr	0.258 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.5787
K	0.219 %	(0.014)	Quan-FP	K Ka	0.2251
Cu	0.068 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	0.2524
Nb	0.053 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	0.6372

* # 30 ESCÓRIA D45

Sample : #40 Escória seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 17:28:08

Measurement Condition

Instrument: EDX-720	Atmosphere: He		Collimator: 10(mm)		Spin: Off		

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)

Ti-U	Rh 50	56-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 99	40
Na-Sc	Rh 15	378-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)

Fe	52.307 %	(0.051)	Quan-FP	FeKa	192.1030
Ca	29.730 %	(0.038)	Quan-FP	CaKa	15.7872
Si	6.435 %	(0.030)	Quan-FP	SiKa	1.3441
Mn	2.771 %	(0.014)	Quan-FP	MnKa	8.7590
Mg	2.273 %	(0.057)	Quan-FP	MgKa	0.0620
Al	1.981 %	(0.031)	Quan-FP	AlKa	0.1486
Cr	1.933 %	(0.011)	Quan-FP	CrKa	5.9910
S	1.297 %	(0.009)	Quan-FP	S Ka	0.9758
Ni	0.301 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.7931
Sr	0.248 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	2.3435
Zr	0.155 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.6903
Zn	0.151 %	(0.004)	Quan-FP	ZnKa	0.6189
Cu	0.134 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	0.4682
Po	0.118 %	(0.006)	Quan-FP	PoLa	0.3334
K	0.114 %	(0.006)	Quan-FP	K Ka	0.0490
Mo	0.053 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.6312

* # 40 Escória 045

Sample : #50 Escória Seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 17:42:51

Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: He Collimator: 10 (mm) Spin: Off

 Analyte TG kV uA FI Acq. (keV) Anal. (keV) Time(sec) DT (%)

 Ti-U Rh 50 58-Auto ---- 0 - 40 0.00-40.00 Live- 99 40
 Na-Sc Rh 15 391-Auto ---- 0 - 20 0.00- 4.40 Live- 99 40

Quantitative Result

 Analyte Result (Std.Dev.) Proc.-Calc. Line Int. (cps/uA)

 Fe 47.629 % (0.048) Quan-FP FeKa 169.5410
 Ca 32.001 % (0.040) Quan-FP CaKa 16.2488
 Si 8.497 % (0.033) Quan-FP SiKa 1.7800
 Mg 2.629 % (0.058) Quan-FP MgKa 0.0731
 Mn 2.610 % (0.013) Quan-FP MnKa 7.8066
 Al 2.375 % (0.033) Quan-FP AlKa 0.1804
 S 1.361 % (0.009) Quan-FP S Ka 0.9949
 Cr 1.282 % (0.010) Quan-FP CrKa 3.6626
 Ti 0.570 % (0.011) Quan-FP TiKa 0.8968
 Sr 0.271 % (0.003) Quan-FP SrKa 2.6332
 Zn 0.203 % (0.004) Quan-FP ZnKa 0.8499
 K 0.200 % (0.007) Quan-FP K Ka 0.0828
 Ni 0.114 % (0.005) Quan-FP NiKa 0.3067
 Cu 0.108 % (0.004) Quan-FP CuKa 0.3855
 Zr 0.104 % (0.002) Quan-FP ZrKa 1.1709
 Mo 0.047 % (0.002) Quan-FP MoKa 0.5771

* # 50 ESCÓRIA D45

Sample : #70 Escória Seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marília - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 17:53:07

Measurement Condition

Instrument: EDX-720	Atmosphere: He		Collimator: 10(mm)		Spin: Off		

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)

Ti-U	Rh 50	58-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	41
Na-Sc	Rh 15	378-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 99	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)

Fe	46.314 %	(0.048)	Quan-FP	FeKa	163.9261
Ca	32.913 %	(0.041)	Quan-FP	CaKa	16.9108
Si	8.256 %	(0.033)	Quan-FP	SiKa	1.7662
Mn	2.521 %	(0.013)	Quan-FP	MnKa	7.5579
Mg	2.340 %	(0.056)	Quan-FP	MgKa	0.0661
Al	2.271 %	(0.032)	Quan-FP	AlKa	0.1758
Cr	1.959 %	(0.012)	Quan-FP	CrKa	5.5588
S	1.455 %	(0.009)	Quan-FP	S Ka	1.0872
Ti	0.445 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.6993
Sr	0.306 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	3.0238
Zn	0.284 %	(0.004)	Quan-FP	ZnKa	1.2131
Ni	0.231 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.6328
Ba	0.225 %	(0.032)	Quan-FP	BaLa	0.1164
K	0.141 %	(0.007)	Quan-FP	K Ka	0.0593
Cu	0.129 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	0.4683
Zr	0.111 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.2690
Mo	0.062 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.7797
Nb	0.036 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	0.4278

* # 70 ESCÓRIA D45

Sample : #100 Escória Seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 18:03:37

Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: He Collimator: 10(mm) Spin: Off

 Analyte TG kV uA FI Acq. (keV) Anal. (keV) Time(sec) DT(%)

 Ti-U Rh 50 59-Auto ---- 0 - 40 0.00-40.00 Live- 100 40
 Na-Sc Rh 15 391-Auto ---- 0 - 20 0.00- 4.40 Live- 99 39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Fe	44.199 %	(0.047)	Quan-FP	FeKa	149.9044
Ca	36.069 %	(0.043)	Quan-FP	CaKa	18.0438
Si	7.823 %	(0.032)	Quan-FP	SiKa	1.6783
Mn	2.463 %	(0.013)	Quan-FP	MnKa	7.0095
Al	2.285 %	(0.032)	Quan-FP	AlKa	0.1775
Mg	2.069 %	(0.054)	Quan-FP	MgKa	0.0583
Cr	1.854 %	(0.011)	Quan-FP	CrKa	4.9121
S	1.598 %	(0.009)	Quan-FP	S Ka	1.1988
Ti	0.639 %	(0.011)	Quan-FP	TiKa	0.9337
Sr	0.335 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	3.2887
K	0.172 %	(0.007)	Quan-FP	K Ka	0.0719
Ni	0.157 %	(0.005)	Quan-FP	NiKa	0.4265
Zr	0.153 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.7394
Cu	0.113 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	0.4084
Mo	0.043 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.5387
Nb	0.028 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	0.3292

* # Escória D15
 100

Sample : #140 Escória Seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 18:14:08

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	66-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	428-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Ca	49.903 %	(0.052)	Quan-FP	CaKa	21.9037
Fe	29.938 %	(0.040)	Quan-FP	FeKa	86.5020
Si	8.615 %	(0.032)	Quan-FP	SiKa	1.8712
Al	2.605 %	(0.032)	Quan-FP	AlKa	0.2063
Mn	2.564 %	(0.014)	Quan-FP	MnKa	5.9485
Mg	2.180 %	(0.051)	Quan-FP	MgKa	0.0625
S	1.650 %	(0.009)	Quan-FP	S Ka	1.2149
Cr	1.331 %	(0.011)	Quan-FP	CrKa	2.6592
Sr	0.404 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	4.0673
K	0.240 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka	0.0949
Zn	0.234 %	(0.004)	Quan-FP	ZnKa	1.0207
Zr	0.204 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	2.3753
Cu	0.091 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	0.3395
Mo	0.041 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.5279

* #140 ESCÓRIA DHS

Sample : #200 Escória Seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 18:24:15

Measurement Condition

Instrument: EDX-720	Atmosphere: He		Collimator: 10(mm)		Spin: Off		

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)

Ti-U	Rh 50	66-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	425-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)	

Ca	50.447 %	(0.052)	Quan-FP	CaKa	22.0420	
Fe	29.293 %	(0.040)	Quan-FP	FeKa	82.5154	
Si	7.966 %	(0.031)	Quan-FP	SiKa	1.7136	
Al	2.588 %	(0.032)	Quan-FP	AlKa	0.2025	
Mn	2.549 %	(0.014)	Quan-FP	MnKa	5.7655	
Mg	2.277 %	(0.054)	Quan-FP	MgKa	0.0645	
Cr	1.472 %	(0.012)	Quan-FP	CrKa	2.8550	
S	1.419 %	(0.008)	Quan-FP	S Ka	1.0466	
Ti	0.834 %	(0.014)	Quan-FP	TiKa	0.8892	
Sr	0.434 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	4.3188	
Zn	0.231 %	(0.004)	Quan-FP	ZnKa	0.9950	
K	0.182 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka	0.0719	
Zr	0.146 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	1.6775	
Cu	0.090 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	0.3309	
Mo	0.044 %	(0.002)	Quan-FP	MoKa	0.5563	
Nb	0.027 %	(0.002)	Quan-FP	NbKa	0.3221	

* #200 ESCÓRIA D45

Sample : #270 Escória Seca *
 Operator: Rodrigo
 Comment : Marilia - Qualitativa
 Group : easy
 Date : 2009-07-30 18:35:23

Measurement Condition

Instrument: EDX-720	Atmosphere: He		Collimator: 10(mm)		Spin: Off		

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)

Ti-U	Rh 50	64-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	400-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)	

Ca	51.222 %	(0.052)	Quan-FP	CaKa	24.3296	
Fe	28.715 %	(0.038)	Quan-FP	FeKa	87.9384	
Si	8.171 %	(0.031)	Quan-FP	SiKa	1.9213	
Al	2.730 %	(0.032)	Quan-FP	AlKa	0.2341	
Mn	2.389 %	(0.014)	Quan-FP	MnKa	5.8550	
Mg	2.291 %	(0.053)	Quan-FP	MgKa	0.0711	
Cr	1.323 %	(0.011)	Quan-FP	CrKa	2.7725	
S	1.318 %	(0.008)	Quan-FP	S Ka	1.0596	
Ti	0.745 %	(0.013)	Quan-FP	TiKa	0.8559	
Sr	0.413 %	(0.003)	Quan-FP	SrKa	4.5008	
Zn	0.226 %	(0.004)	Quan-FP	ZnKa	1.0695	
K	0.187 %	(0.008)	Quan-FP	K Ka	0.0806	
Zr	0.170 %	(0.002)	Quan-FP	ZrKa	2.1405	
Cu	0.100 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	0.4024	

* # 270 ESCÓRIA D45

ANEXO 2

Ensaio Ambientais (Lixiviação e Solubilização)

LIXIVIAÇÃO

Parâmetros Analíticos	Amostra					
	Escória D1	Escória D1	Escória D45	Escória D45	L.D.	NBR 10004 (mg/L)
As	< 0,12	< 0,12	< 0,12	< 0,12	0,12-0,5	5,0
Ba	0,9	0,9	1,7	1,6	0,2 - 20	100,0
Cd	< 0,12	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,12 - 0,5	5,0
Cr	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,02 - 1,0	5,0
Ag	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	0,25 - 0,5	5,0
Se	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,0 - 100	1,0
Pb	< 0,12	< 0,12	< 0,12	< 0,12	0,12 - 0,5	5,0
Hg	<u>< 5,0</u>	<u>< 5,0</u>	<u>< 5,0</u>	<u>< 5,0</u>	<u>5 - 10</u>	<u>0,1</u>
Fluoreto (mg/L F ⁻)	7,4	6,9	4,8	4,5	0,01 - 10	150,0

SOLUBILIZAÇÃO

Parâmetros Analíticos	Amostra			
	Escória de D1	Escória de D45	L.D.	NBR 10004 (mg/L)
As	< 0,12	< 0,12	0,12-0,5	0,05
Ba	0,4	< 0,2	0,2 - 20	1,0
Cd	< 0,12	< 0,12	0,12 - 0,5	0,005
Cr	0,25	0,03	0,02 - 1,0	0,05
Ag	< 0,25	< 0,25	0,25 - 0,5	0,05
Se	< 1,0	< 1,0	1,0 - 100	0,01
Fe	< 0,12	< 0,12	0,12 - 10	0,3
Pb	< 0,12	< 0,12	0,12 - 0,5	0,05
Cu	< 0,1	< 0,1	0,1- 5	1,0
Mn	< 0,06	< 0,06	5 - 10	0,1
Zn	0,09	< 0,06	0,01 - 10	5,0
Al	5,2	14,9	0,12 - 20	0,2
Na	82,7	30,3	3 - 100	200,0
Hg	< 5,0	< 5,0	5 - 10	0,001
Fluoreto	< 0,01	< 0,01	0,01 - 10	1,5
Cloreto	6,7	97,2	1-100	250
Sulfato	3,7	10,3	0,5-10	400
Dureza	440	340	5-1000	500

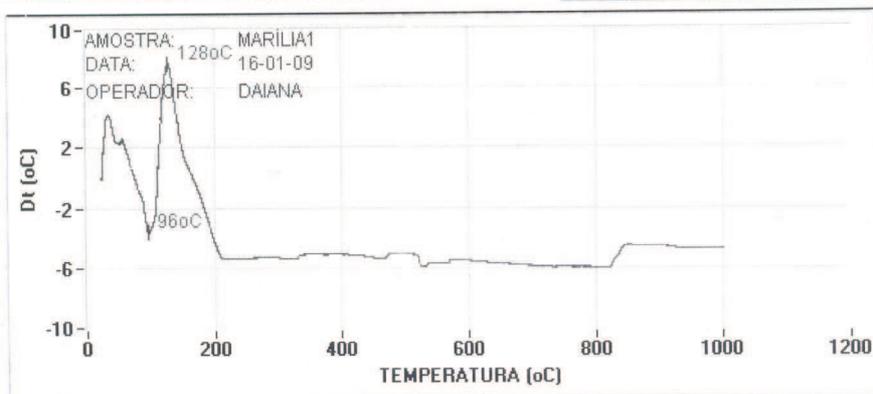
ANEXO 3

ANÁLISES TÉRMICAS

ARGILA

ESCÓRIAS D1 E D45

CORPOS DE PROVA

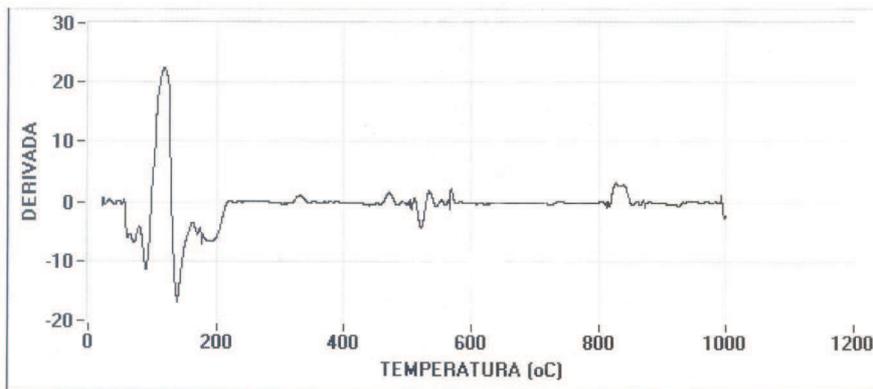


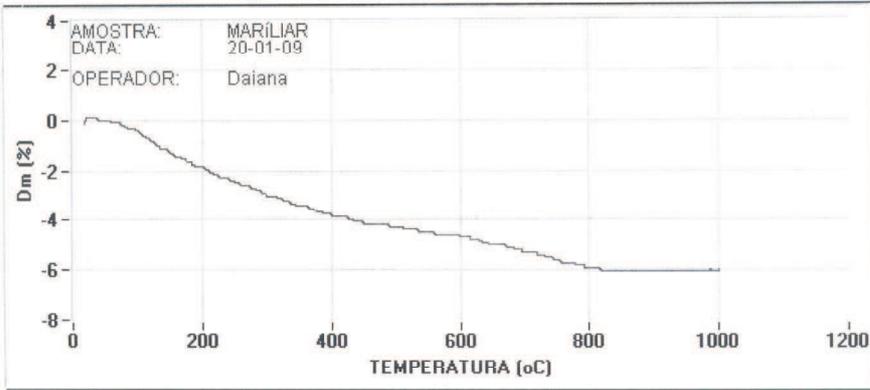
AMOSTRA: MARÍLIA1
 DATA: 16-01-09
 OPERADOR: DAIANA

VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
 FORNO Nr: 2 ISOLADO
 OBS: EFS VIA 1

ACIDENTES TÉRMICOS SIGNIFICATIVOS

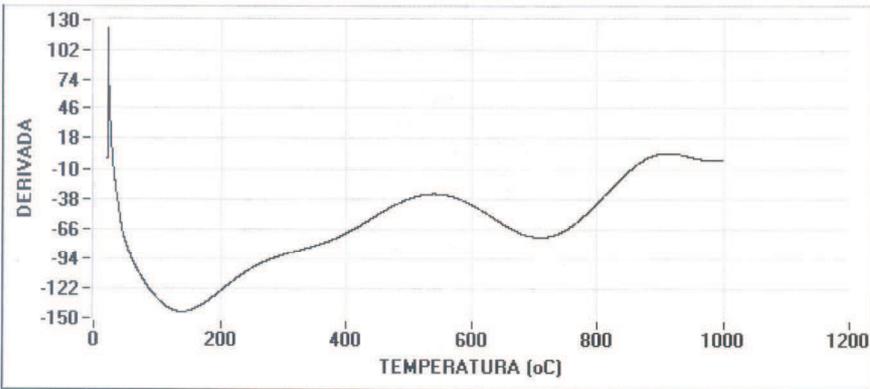
TEMP. oC	DESCRIÇÃO	INTENSIDADE
96 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
96 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
128 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
210 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
865 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE

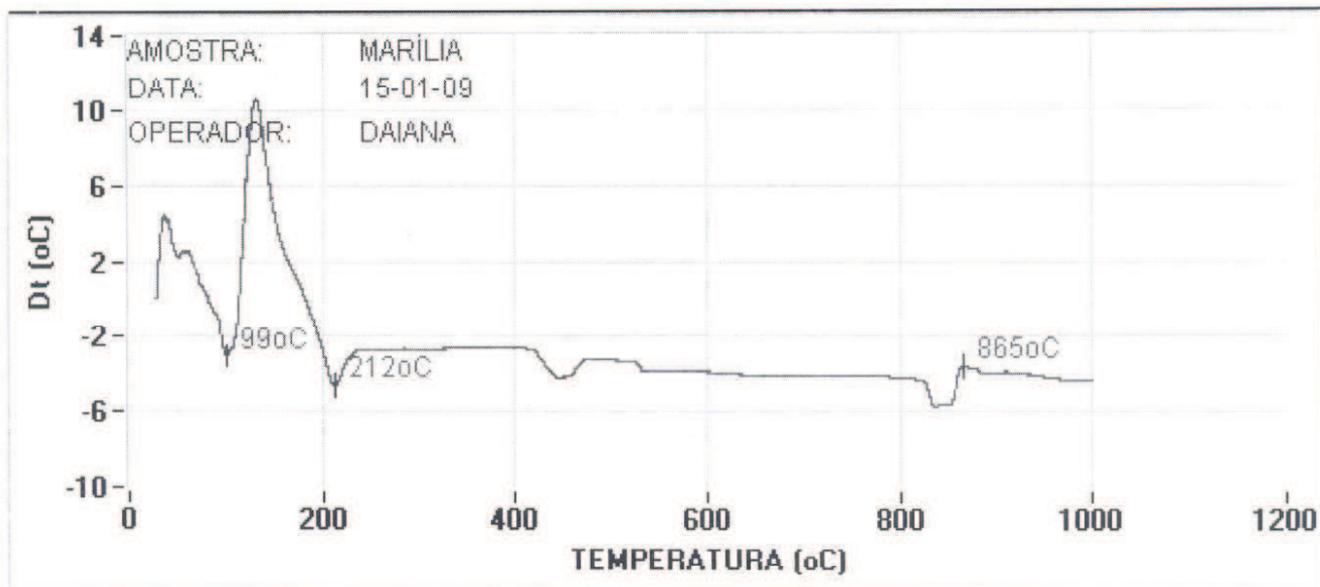




AMOSTRA: MARÍLIAR VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
 DATA: 20-01-09 FORNO Nr: 3 ISOLADO
 OPERADOR: Daiana OBS: EFS-VIA 1

TEMP. oC	PONTOS CRITICOS ATG LIMITES CONSIDERADOS	PERDA DE MASSA
139 oC	21 - 540 oC	4.56 %
709 oC	540 - 910 oC	1.56 %
PERDA DE MASSA TOTAL 6.04 %		



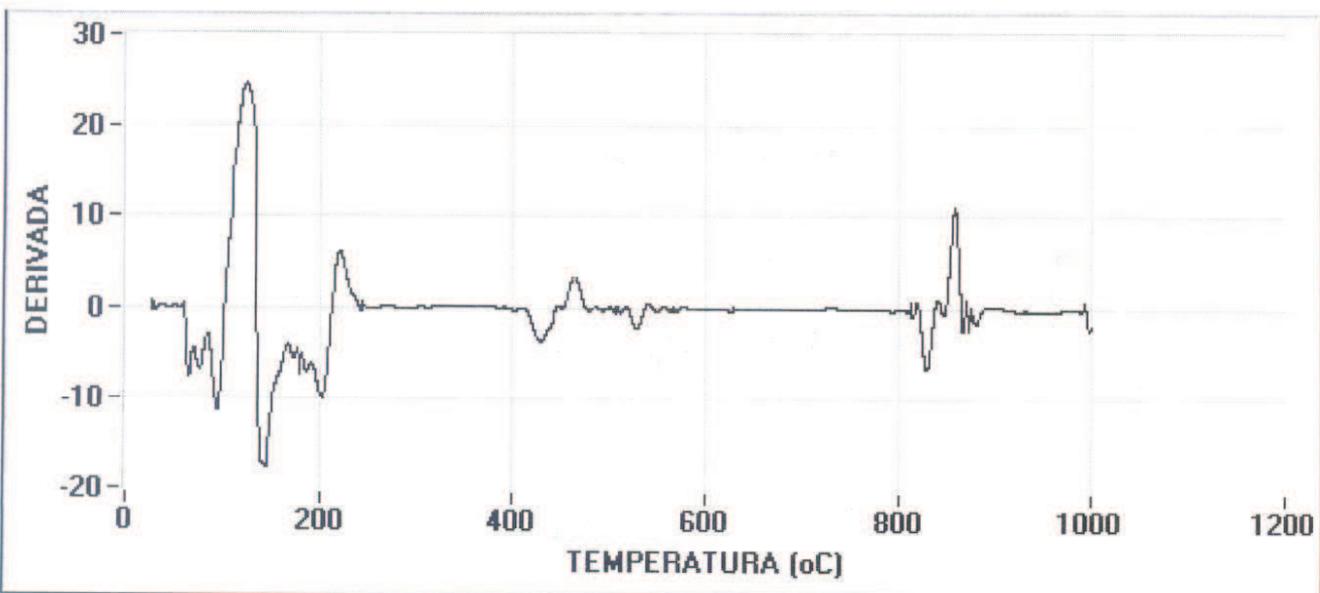


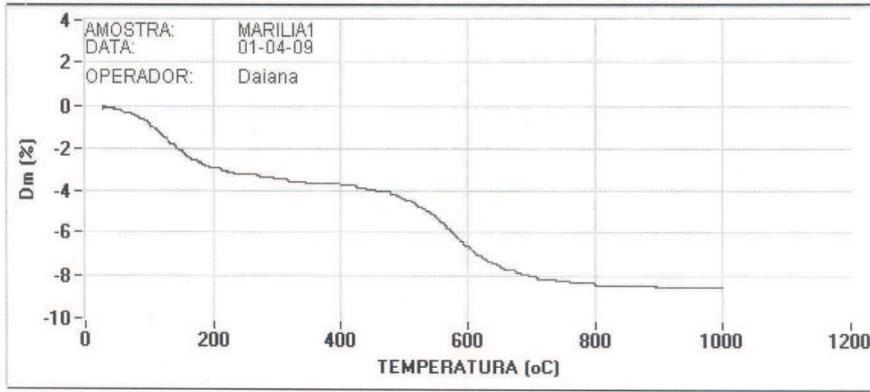
AMOSTRA: MARÍLIA
 DATA: 15-01-09
 OPERADOR: DAIANA

VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
 FORNO Nr: 2 ISOLADO
 OBS: EFU - VIA 2

ACIDENTES TÉRMICOS SIGNIFICATIVOS

TEMP. oC	DESCRIÇÃO	INTENSIDADE
99 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
212 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
865 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE

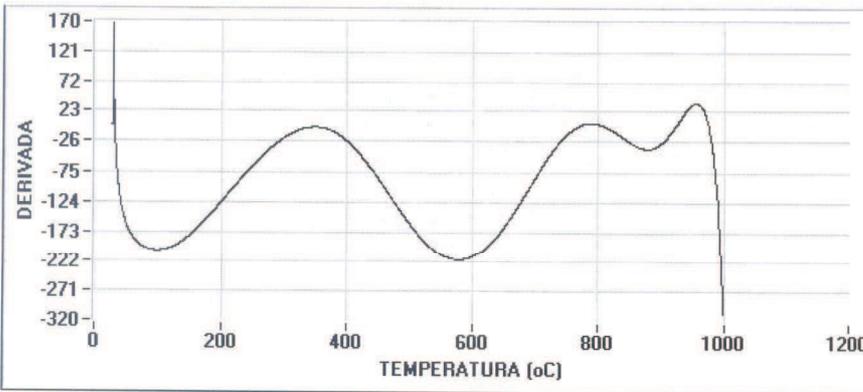


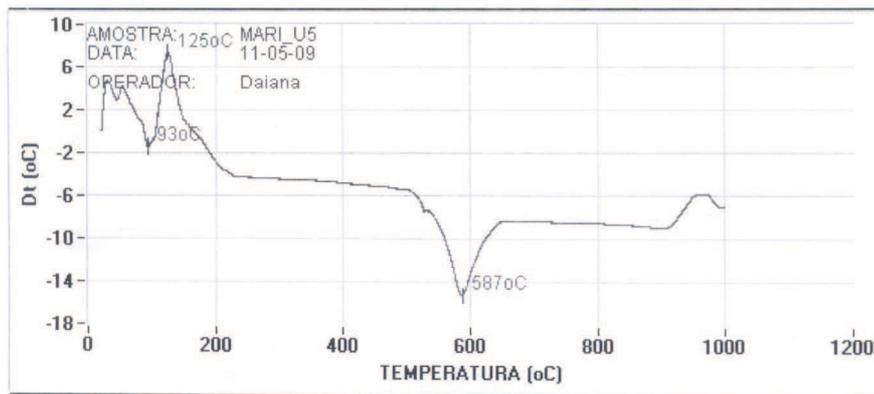


AMOSTRA: MARILIA1
 DATA: 01-04-09
 OPERADOR: Daiana

VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
 FORNO Nr: 3 ISOLADO
 OBS: EFU 10% 850 e 950

TEMP. oC	LIMITES CONSIDERADOS	PERDA DE MASSA
97 oC	28 - 349 oC	3.53 %
579 oC	349 - 789 oC	4.73 %
PERDA DE MASSA TOTAL 8.55 %		

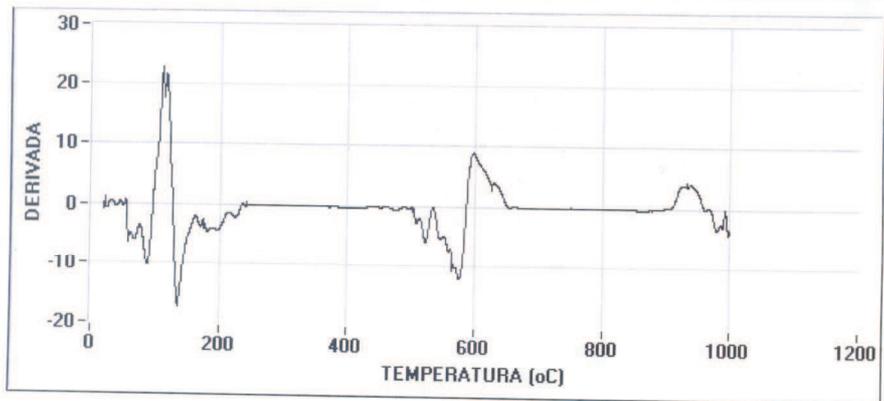


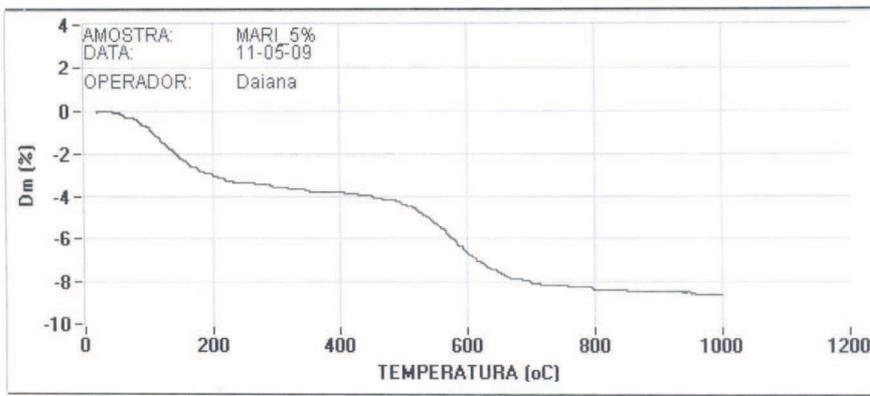


AMOSTRA: MARI_U5 VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
DATA: 11-05-09 FORNO Nr: 2 ISOLADO
OPERADOR: Daiana OBS: U_5%_Refeito

ACIDENTES TÉRMICOS SIGNIFICATIVOS

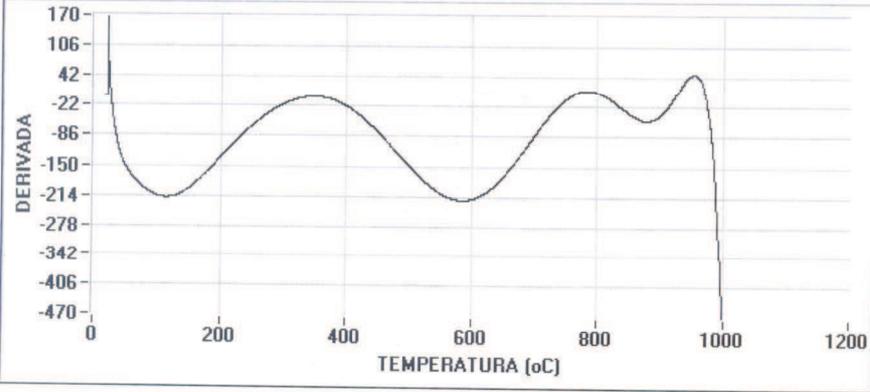
TEMP. oC	DESCRIÇÃO	INTENSIDADE
93 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
125 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
587 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	MÉDIA INTENSIDADE

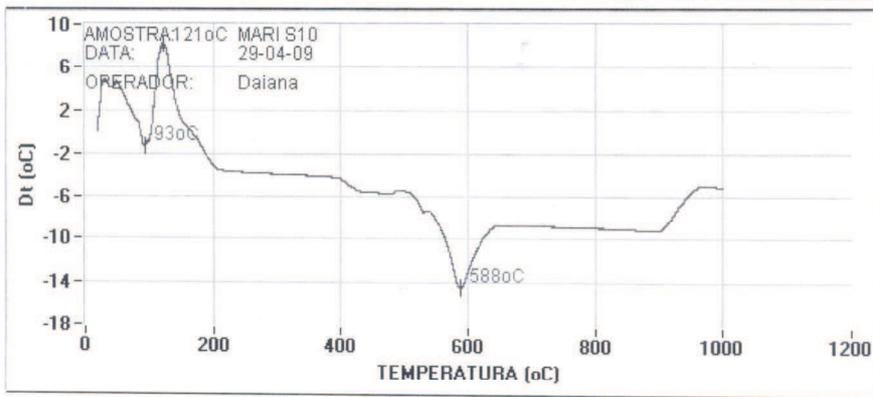




AMOSTRA: MARL_5% VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
 DATA: 11-05-09 FORNO Nr: 3 ISOLADO
 OPERADOR: Daiana OBS: U_5%_Refeito

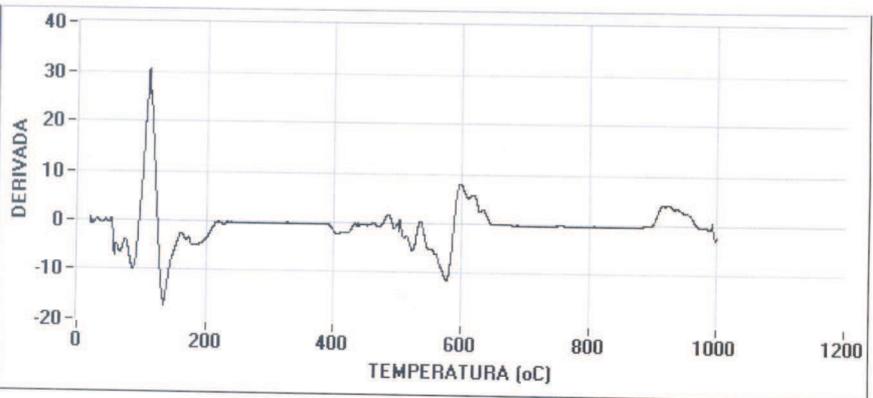
TEMP. oC	PONTOS CRITICOS ATG LIMITES CONSIDERADOS	PERDA DE MASSA
114 oC	20 - 349 oC	3.73 %
586 oC	349 - 784 oC	4.54 %
PERDA DE MASSA TOTAL 8.58 %		

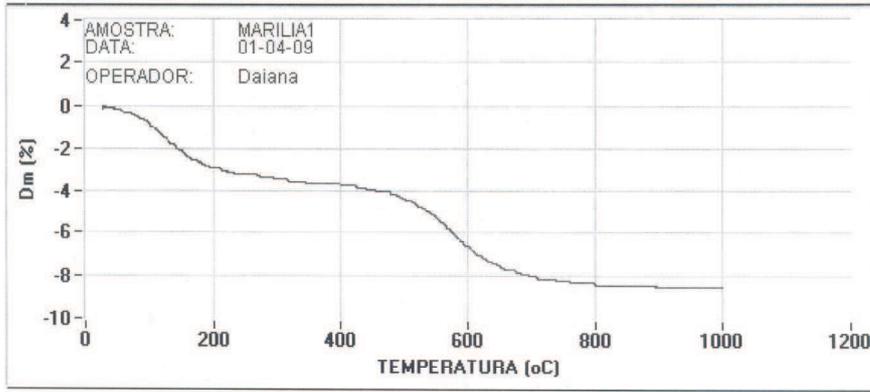




AMOSTRA: MARI S10 VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
DATA: 29-04-09 FORNO Nr: 2 ISOLADO
OPERADOR: Daiana OBS: 5%_10%

TEMP. oC	ACIDENTES TÉRMICOS SIGNIFICATIVOS DESCRIÇÃO	INTENSIDADE
93 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
121 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
588 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	MÉDIA INTENSIDADE

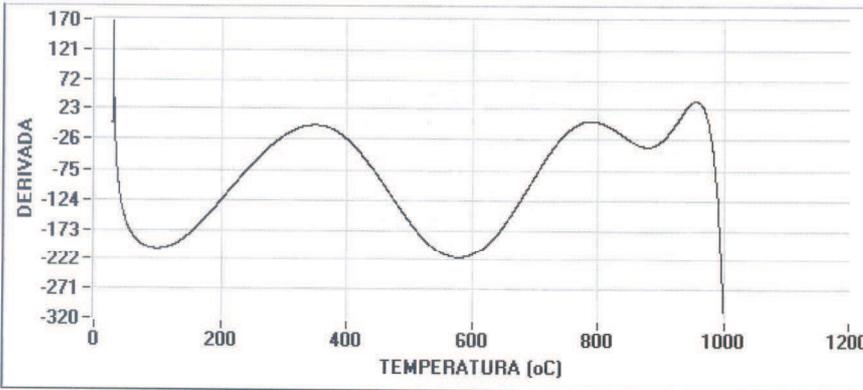


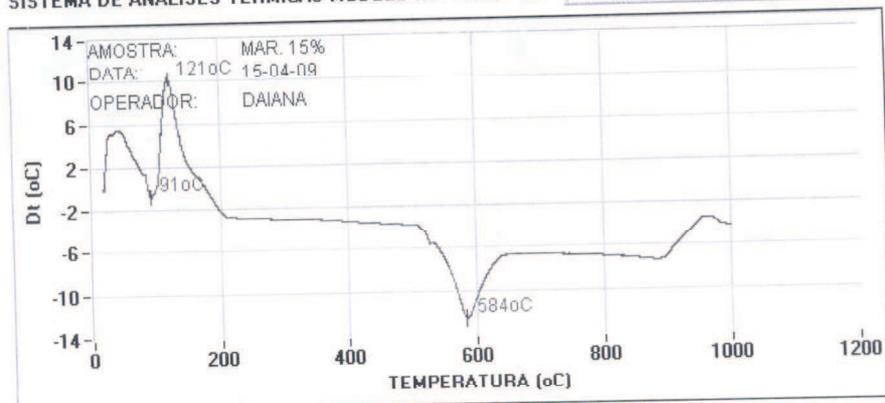


AMOSTRA: MARILIA1
 DATA: 01-04-09
 OPERADOR: Daiana

VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
 FORNO Nr: 3 ISOLADO
 OBS: EFU 10% 850 e 950

TEMP. oC	PONTOS CRITICOS ATG LIMITES CONSIDERADOS	PERDA DE MASSA
97 oC	28 - 349 oC	3.53 %
579 oC	349 - 789 oC	4.73 %
PERDA DE MASSA TOTAL 8.55 %		



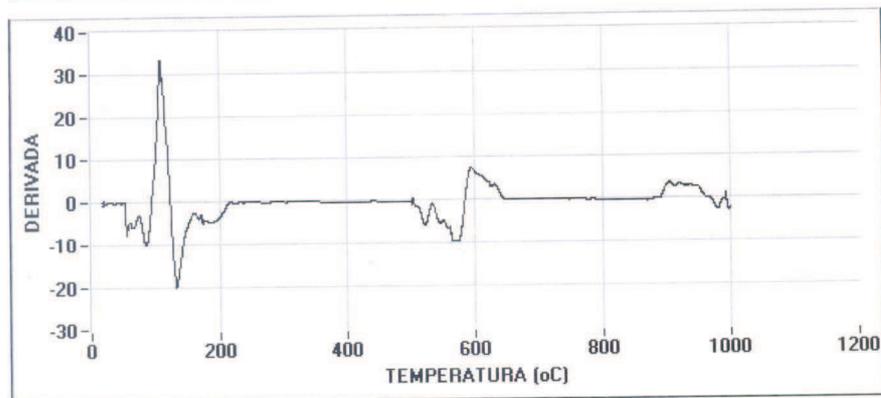


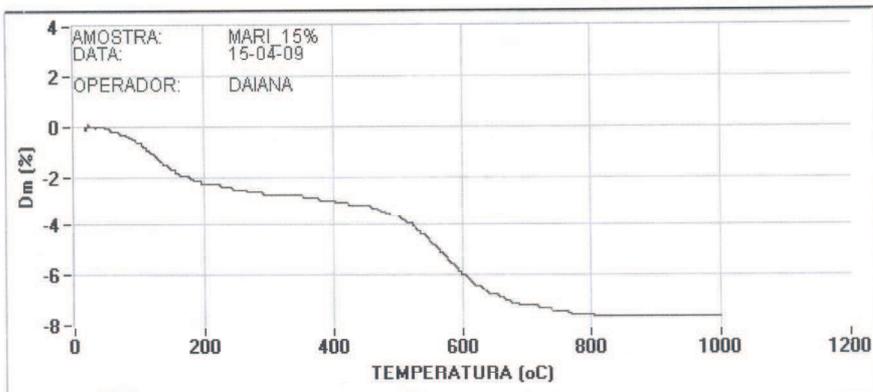
AMOSTRA: MAR. 15%
DATA: 15-04-09
OPERADOR: DAIANA

VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
FORNO Nr: 2 ISOLADO
OBS: U_15%

ACIDENTES TÉRMICOS SIGNIFICATIVOS

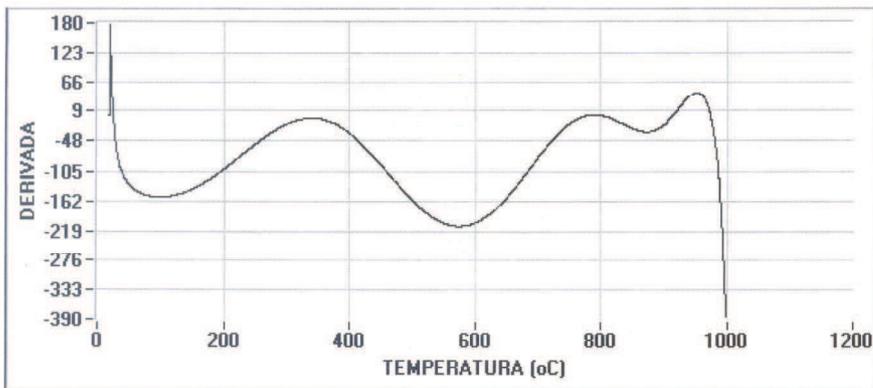
TEMP. oC	DESCRIÇÃO	INTENSIDADE
91 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
121 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	MÉDIA INTENSIDADE
584 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	MÉDIA INTENSIDADE

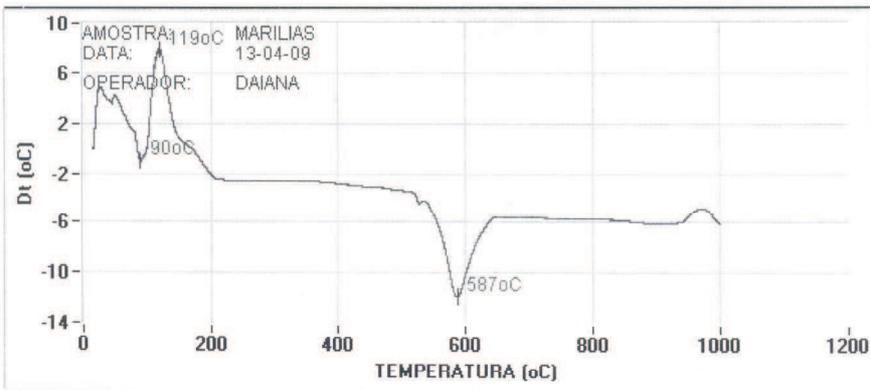




VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
 FORNO Nr: 3 ISOLADO
 OBS: U15%

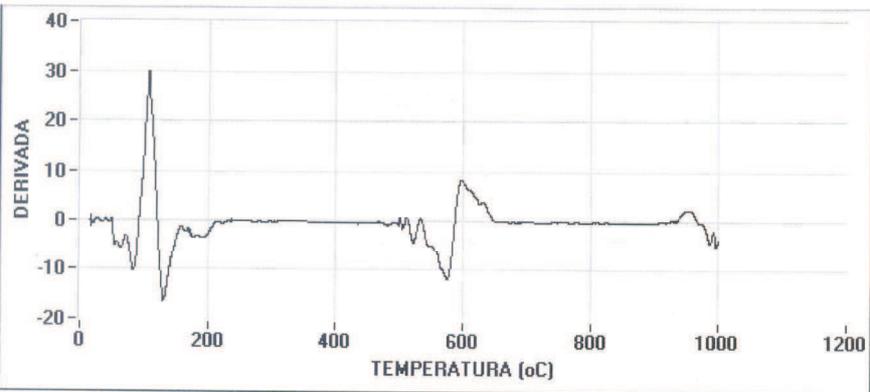
TEMP. oC	PONTOS CRITICOS ATG LIMITES CONSIDERADOS	PERDA DE MASSA
97 oC	19 - 340 oC	2.73 %
575 oC	340 - 789 oC	4.80 %
PERDA DE MASSA TOTAL 7.64 %		

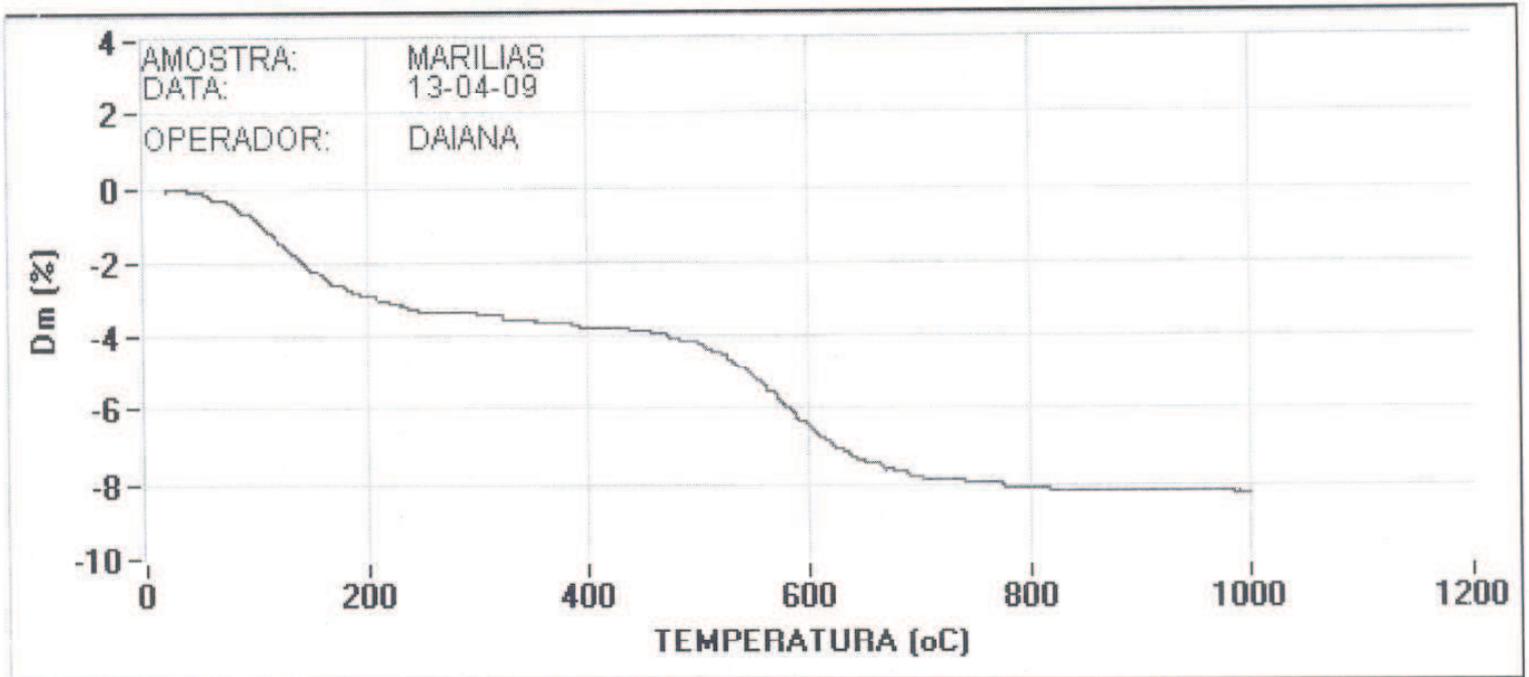




ACIDENTES TÉRMICOS SIGNIFICATIVOS

TEMP. oC	DESCRIÇÃO	INTENSIDADE
90 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
119 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
587 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	MÉDIA INTENSIDADE



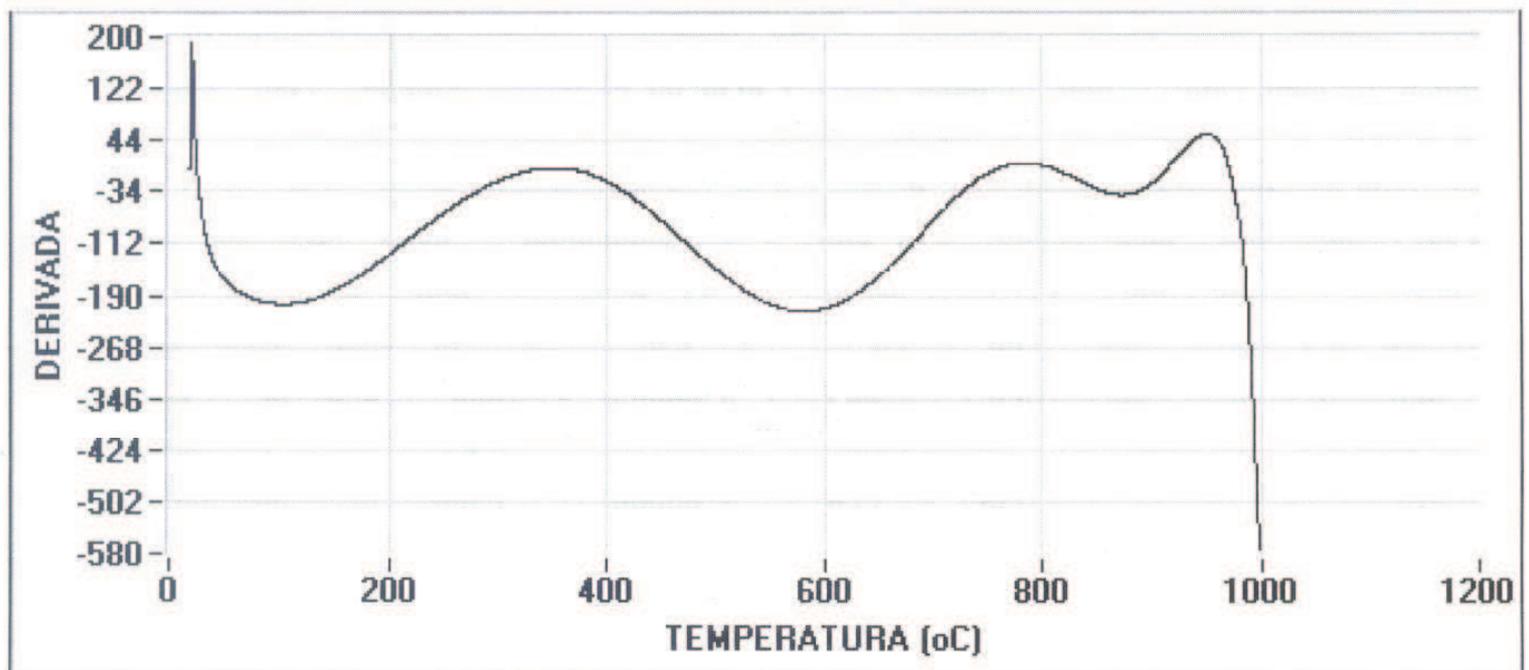


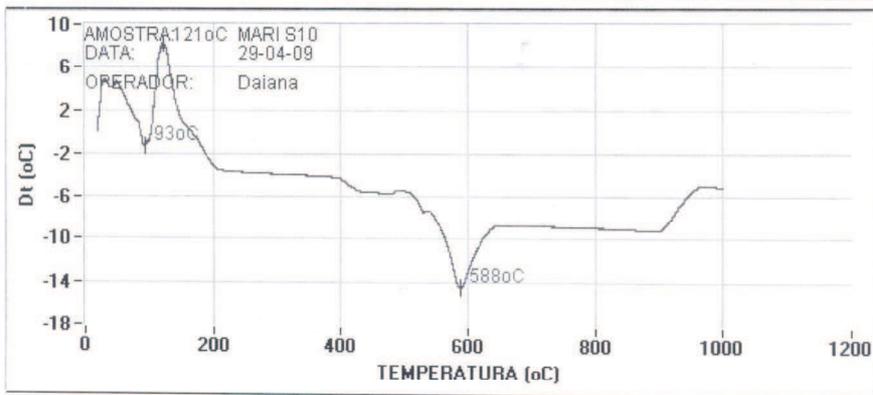
AMOSTRA: MARILIAS
DATA: 13-04-09
OPERADOR: DAIANA

VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
FORNO Nr: 3 ISOLADO
OBS: S_5%

TEMP. oC	PONTOS CRITICOS ATG LIMITES CONSIDERADOS	PERDA DE MASSA
103 oC	20 - 351 oC	3.58 %
581 oC	351 - 784 oC	4.49 %

PERDA DE MASSA TOTAL 8.27 %

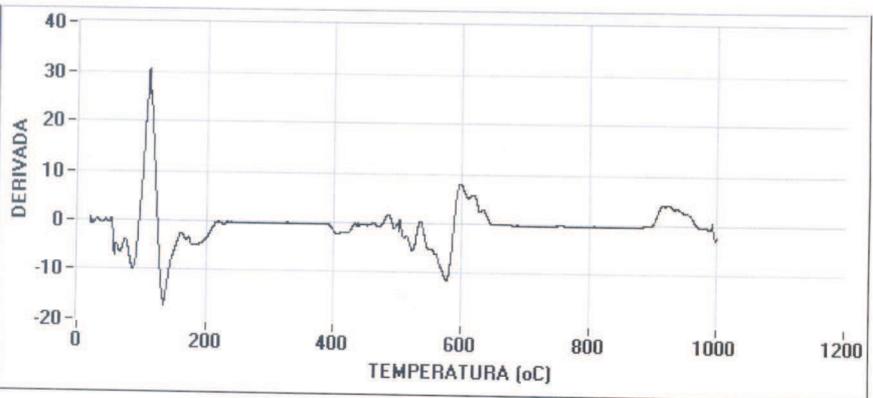


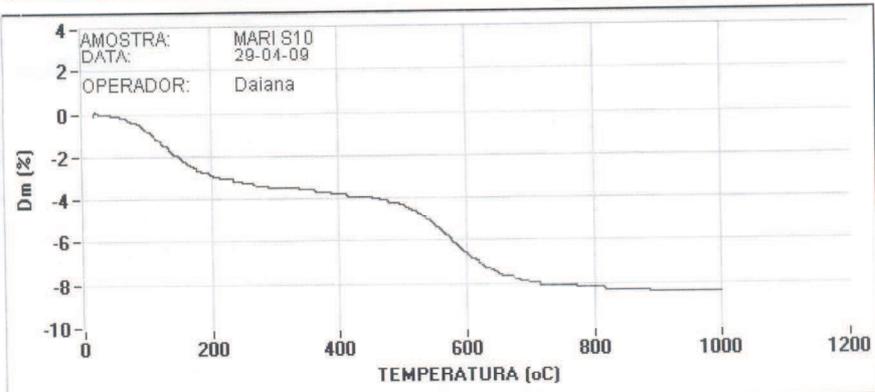


AMOSTRA: MARI S10
DATA: 29-04-09
OPERADOR: Daiana

VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
FORNO Nr: 2 ISOLADO
OBS: 5%_10%

TEMP. oC	ACIDENTES TÉRMICOS SIGNIFICATIVOS DESCRIÇÃO	INTENSIDADE
93 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
121 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
588 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	MÉDIA INTENSIDADE



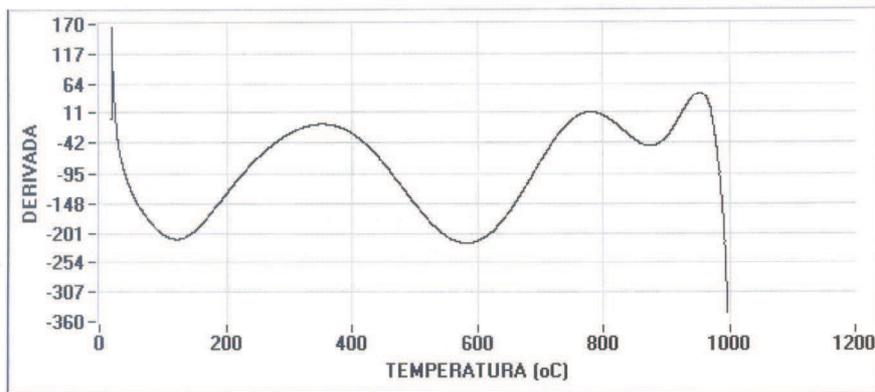


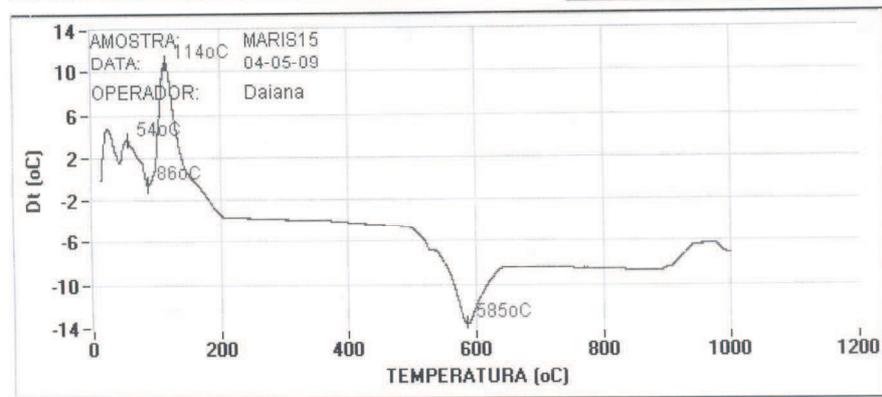
AMOSTRA: MARI S10
DATA: 29-04-09
OPERADOR: Daiana

VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.4 oC/Min.
FORNO Nr: 3 ISOLADO
OBS: S 10%

TEMP. oC	PONTOS CRITICOS ATG LIMITES CONSIDERADOS	PERDA DE MASSA
121 oC	18 - 352 oC	3.68 %
583 oC	352 - 780 oC	4.61 %

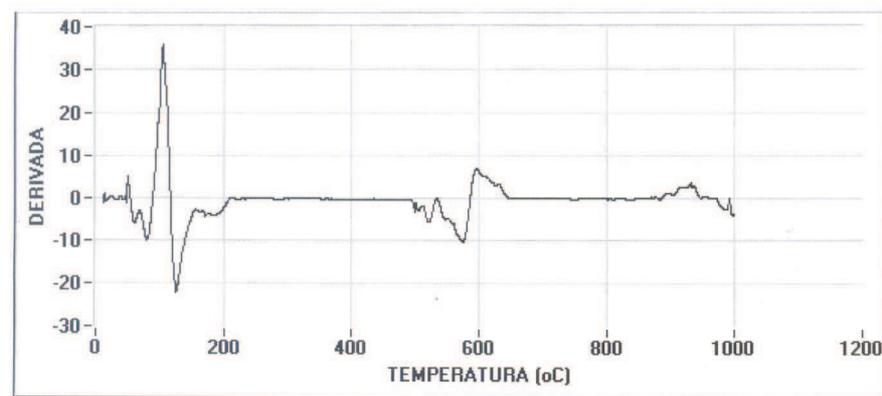
PERDA DE MASSA TOTAL 8.39 %

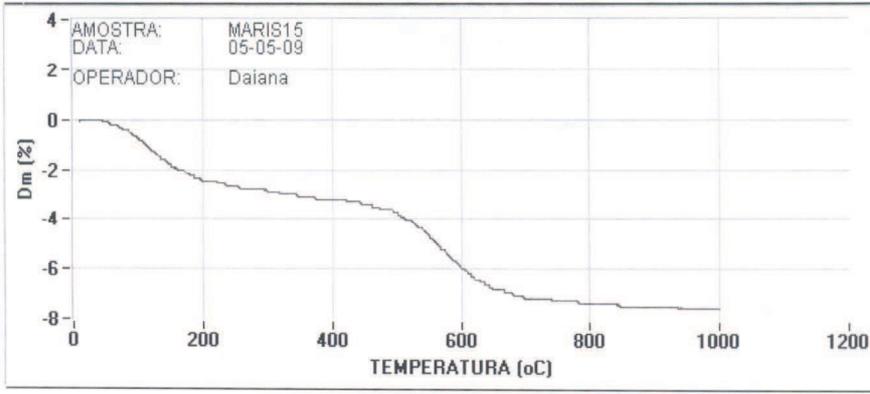




ACIDENTES TÉRMICOS SIGNIFICATIVOS

TEMP. oC	DESCRIÇÃO	INTENSIDADE
54 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
86 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	PEQUENA INTENSIDADE
114 oC	ACIDENTE EXOTÉRMICO	MÉDIA INTENSIDADE
585 oC	ACIDENTE ENDOTÉRMICO	MÉDIA INTENSIDADE

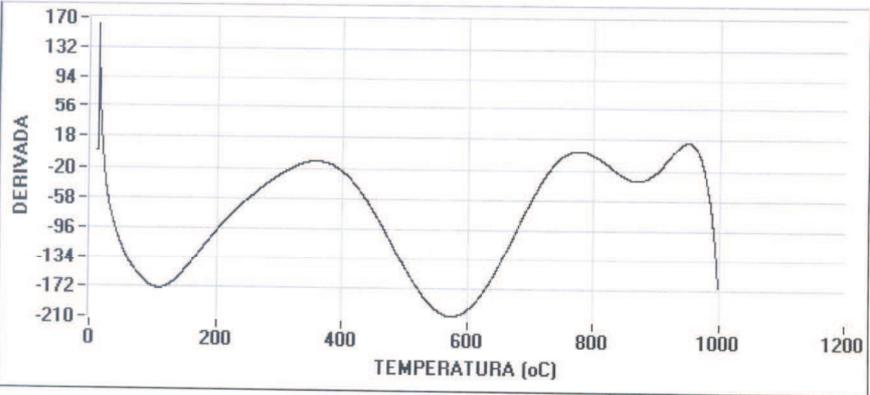




AMOSTRA: MARIS15 VELOCIDADE DE AQUECIMENTO: 12.5 oC/Min.
DATA: 05-05-09 FORNO Nr: 3 ISOLADO
OPERADOR: Daiana OBS: S_15%

TEMP. oC	PONTOS CRITICOS ATG LIMITES CONSIDERADOS	PERDA DE MASSA
108 oC	12 - 358 oC	3.10 %
575 oC	358 - 776 oC	4.17 %

PERDA DE MASSA TOTAL 7.59 %



ANEXO 4

GRANULÔMETRIA A LASER
ESCÓRIAS D 1 E D45



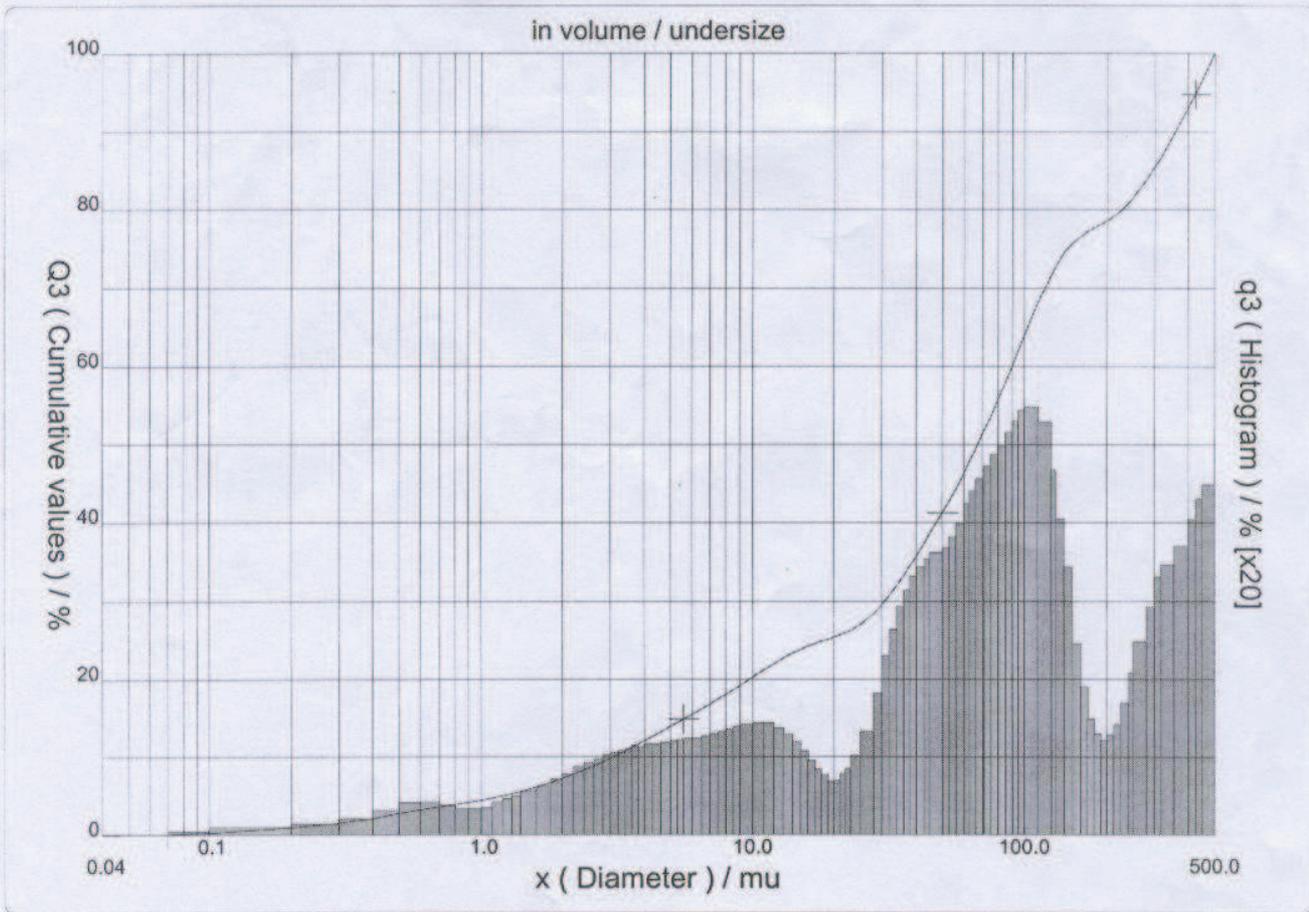
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Sample Ref : EFU ✖
Type produit : Escória
Client : Marília
Comments :
Liquid : Water (eau)
Dispersing agent :
Operator : Marcos
Company :
Location :
Date : 04/02/2009 Time : 11:10:42
Index meas. : 544

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 135
Diameter at 10% : 3.05 mu
Diameter at 50% : 67.53 mu
Diameter at 90% : 359.85 mu
Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----
Automatic dilution : No / No
Meas./Rins. : 60/60/4
SOP : Caulim



Serial nb : 169

Ref : 2.r110.m0.66A1818/3.30/544/m25.12.5.10.1Fh.20.5.10.1Bh/Q-.0.0.0.0/300.0.15.g60.2.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V 5.12/830

✖ ESCÓRIA D4



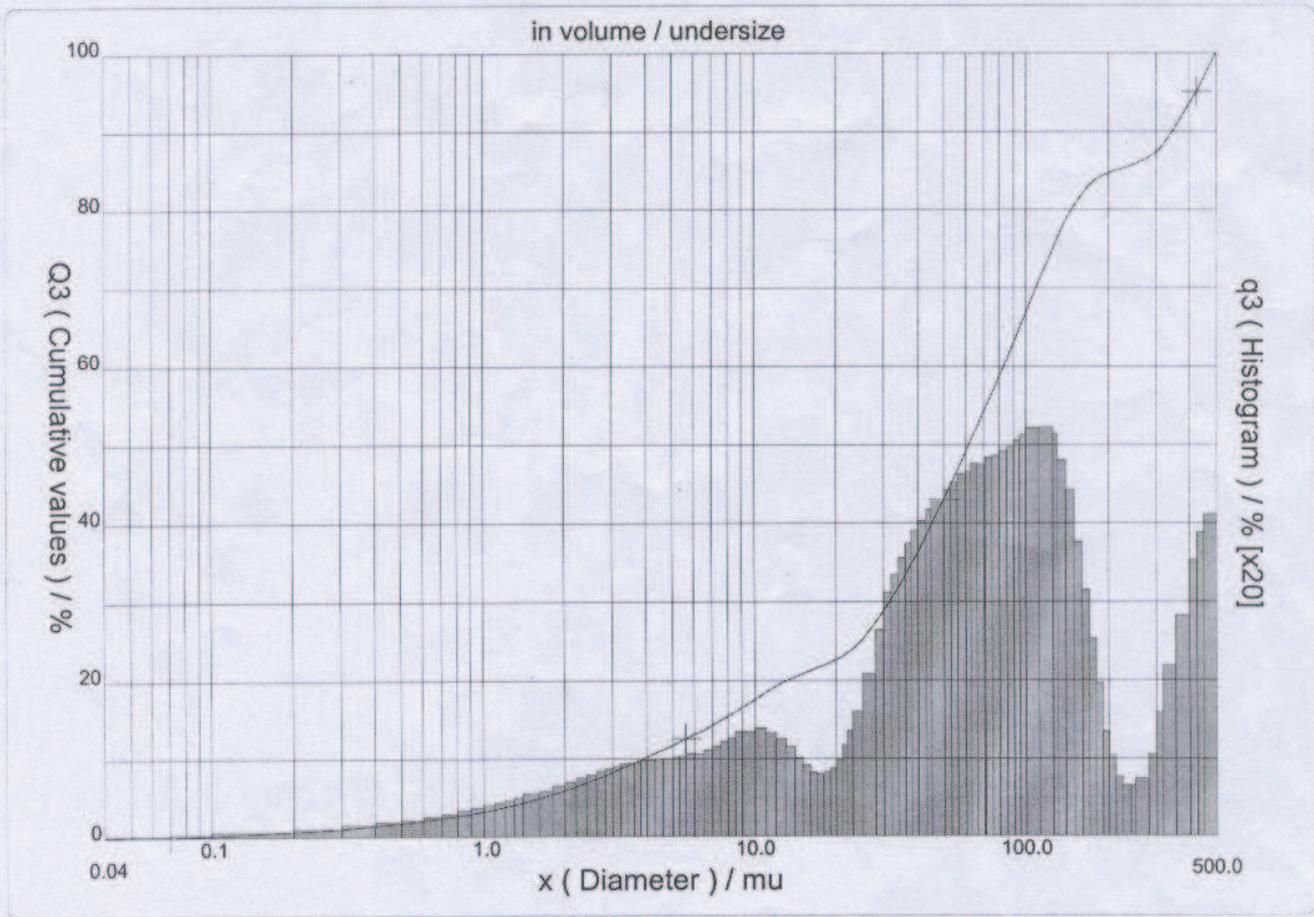
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Sample Ref : EFS *
Type produit : Escória
Client : Marília
Comments :
Liquid : Water (eau)
Dispersing agent :
Operator : Marcos
Company :
Location :
Date : 04/02/2009 Time : 11:19:04
Index meas. : 545

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 134
Diameter at 10% : 3.90 mu
Diameter at 50% : 61.89 mu
Diameter at 90% : 347.56 mu
Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----
Automatic dilution : No / No
Meas./Rins. : 60/60/4
SOP : Caulim



Serial nb : 169

Ref : 2.r110.m0.66A1818/3.30/545/m25.12.5.10.1Fh.20.5.10.1Bh/Q-.0.0.0.0/300.0.15.g60.2.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V 5.12/830

* Escória D45