



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

EDNA FERNANDES FEITOSA

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO E DA ESCÓRIA
DO FORNO PANELA EM MASSAS PARA CERÂMICA VERMELHA: ZONAS DE
EXTRUSÃO**

MARABÁ
2017

EDNA FERNANDES FEITOSA

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO E DA ESCÓRIA
DO FORNO PANELA EM MASSAS PARA CERÂMICA VERMELHA: ZONAS DE
EXTRUSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
em cumprimento as exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia de
Materiais.

Orientador:

Profº. Dr. Elias Fagury Neto

MARABÁ
2017

EDNA FERNANDES FEITOSA

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO E DA ESCÓRIA
PROVENIENTE DA ETAPA DE REFINO SECUNDÁRIO DO FORNO PANELA EM
MASSAS PARA CERÂMICA VERMELHA: ZONAS DE EXTRUSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
em cumprimento as exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia de
Materiais.

DATA DA AVALIAÇÃO: 22/03/2017

CONCEITO: EXCELENTE

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Elias Fagury Neto
(FEMAT - IGE - UNIFESSPA - Orientador)



Prof. Dr. Adriano Alves Rabêlo
(FEMAT - IGE - UNIFESSPA - Membro)



Prof. Jailes Santana de Moura
(FEMAT - IGE - UNIFESSPA - Membro)

Dedico este trabalho a todos, que de alguma forma contribuíram para realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me manter, guiar meus passos, me dar forças, saúde, amigos, uma família, uma fé e a oportunidade de estar concluindo mais uma etapa importante da minha vida. A Ele dedico a minha vida e tudo o que sou como gratidão por todas as dádivas.

Aos meus familiares pelo incentivo mesmo estando longe.

A dona Maria Djanira Alves Ferreira por não me deixar desistir apesar das dificuldades, sempre me apoiando e me ajudando com palavras e recursos.

A minha amiga e companheira de ensaios de liquidez e plasticidade Carolina Marinho Santana, que passou meses indo para o laboratório comigo para desenvolver a parte prática deste trabalho, eu não poderia estar em melhor companhia.

A minha amiga Diana da Silva Luna, que tornou a vida mais leve e divertida no curso, e por me levar muitas vezes pra universidade.

Aos meus colegas de faculdade, que fizeram com que a nossa turma fosse a melhor e mais divertida turma de Engenharia de Materiais da FEMAT.

Aos professores que estiverem sempre dispostos a transmitir seus conhecimentos a mim, especialmente o prof. Dr. Elias Fagury Neto por aceitar orientar-me neste desafio final do curso, dando-me todas as instruções necessárias e ajudando a enriquecer este trabalho com os seus valiosos conhecimentos.

Às empresas: Siderúrgica Norte Brasil S.A., Vale S.A. e Cerâmica Castanheira Ltda. pelo fornecimento das matérias-primas.

Ao Prof. Gelmires Neves (UAEMa-UFCG), pelas análises de FRX.

Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.

Dalai Lama

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo do efeito da incorporação da escória do forno panela (EFP) e a incorporação, também, da escória de alto forno (EAF) em argilas usadas para a confecção de massas para fabricação de cerâmica vermelha. Ambas as escórias foram provenientes de uma usina siderúrgica local e foram adicionadas às formulações de massas cerâmicas nas proporções de 8%, 14% e 16% (para EFP) e 6%, 12% e 15% (para EAF). As formulações foram ensaiadas em equipamentos apropriados que medem o limite de liquidez e limite de plasticidade. A propriedade analisada foi o índice de plasticidade, com o intuito de se fazer um estudo das zonas de extrusão. Resultados mostraram que a incorporação dessas escórias em argilas altera a plasticidade, porém, em alguns casos, não inviabiliza seu uso no processo de extrusão, levando em conta que, a partir dos resultados notou-se que a EFP pode ser usada em massas cerâmicas com teores menores que 10%.

Palavras-chave: Cerâmica, escória, argila, zonas de extrusão, plasticidade.

ABSTRACT

The aim of the present work was to study the effect of the incorporation of the steel ladle furnace slag (SLF) and the blast furnace slag (BFS) into clays used for the manufacture of red ceramics masses for extrusion. Both slags were supplied by from a local steel mill and it were added to the ceramic formulation masses in the proportions of 8%, 14% and 16% (for SLF) and 6%, 12% and 15% (for BFS). The formulations were tested on appropriate equipment that measures the liquidity limit and plasticity limit. The property analyzed was the index of plasticity, with the intention of making a study of the extrusion zones. Results showed that the incorporation of these slags into clay alters the plasticity, but in some cases, it does not prevent its use in the extrusion process, taking into account that, from the results it was noted that the SLF can be used in ceramic masses with contents less than 10%.

Keywords: Ceramics, slag,clay, extrusion zones, plasticity.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho para a incorporação das EFP e EAF.....	29
Figura 2: Ensaio de limite de plasticidade.....	30
Figura 3: Ensaio do Limite de Liquidez	31
Figura 4:Aparelho Casagrande	31
Figura 5: Difratoograma de raios X da argila APA e da EAF.....	34
Figura 6: Índice de plasticidade das formulações usadas para a incorporação da EFP.....	35
Figura 7: Índice de plasticidade da argila APA	35
Figura 8: Índice de plasticidade das formulações com adição de EAF.	36
Figura 9: Zona de extrusão para as argilas magra e gorda e adição da EFP.	37
Figura 10: Zona de extrusão da argila APA.	38
Figura 11: Zona de extrusão das formulações com a adição da EAF.....	39

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Setor Cerâmico definido em segmentos.	21
Tabela 2: Formulações desenvolvidas para avaliar a incorporação da EFP.	28
Tabela 3: Formulações desenvolvidas para avaliar a incorporação da EAF.	29
Tabela 4: Composição química das AG e AM e EFP	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
APA	Área de preservação ambiental
DRX	Difratometria de raios X
EAF	Escória de Alto-forno
EDS	Espectrometria de energia dispersiva de raios X
EFP	Escória de forno panela
IP	Índice de plasticidade
LD	Linz-Donawitz
LP	Limite de plasticidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NBR	Norma brasileira
VR13	Vila rural 13
ZE	Zonas de extrusão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVO	15
2.1. OBJETIVO GERAL.....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. ARGILA	16
3.1.1. Tipos de Argilas	16
3.1.2. Plasticidade das argilas	17
3.1.3. Extração das argilas	18
3.1.4. Cerâmica Vermelha	18
3.1.5. Principais etapas do processo de fabricação de cerâmicas vermelhas	19
3.1.5.1. <i>Seleção e preparação das matérias-primas</i>	19
3.1.5.2. <i>Secagem</i>	19
3.1.5.3. <i>Prensagem</i>	20
3.1.6. Indústria cerâmica no Brasil	21
3.1.7. Especificações	22
3.2. ESCÓRIAS	23
3.2.1 Escória de Alto forno	24
3.2.2 Escória de Forno panela	24
3.3. EXTRUSÃO.....	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1. MATERIAIS	27
4.2. METODOLOGIA.....	28
4.2.1. Ensaio tecnológicos	30
4.2.1.1. <i>Limite de Plasticidade (LP)</i>	30
4.2.1.2. <i>Limite de Liquidez (LL)</i>	30
4.2.1.3. <i>Índice de Plasticidade (LP) e Zonas de extrusão (ZE)</i>	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	33
5.1.1 Caracterização química.....	33
5.1.2 Caracterização mineralógica.....	34
5.2 ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	35

5.2.1	Índice de plasticidade (IP)	35
5.2.2	Zonas de extrusão (ZE).....	37
5.	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

A escória é um dos inúmeros resíduos gerados nos processos siderúrgicos de fabricação de aço e tem como composição básica óxidos metálicos e não metálicos. Dependendo do processo de geração, pode ser escória de alto forno (fusão redutora de minérios) ou de aciaria elétrica (produção de aço). A escória do forno panela de aciaria elétrica é gerada na etapa do refino secundário no forno panela, sendo este o processo de refino secundário mais utilizado no Brasil. (CARDOSO, M. A., 2016)

A reciclagem de resíduos é uma prática que deve ser incorporada como uma alternativa quando não existe a chance de minimização. Nas últimas décadas, a maior conscientização das questões ambientais e as políticas públicas vêm fazendo com que surjam novas propostas de reciclagem e redução da quantidade de resíduos gerados. A reciclagem de resíduos, transformando em subprodutos ou co-produtos, acarreta na redução do volume de material descartado e na preservação dos recursos minerais não renováveis, tendo benefícios tanto ambientais quanto econômicos. 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) 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. (FEITOSA. *et al*, 2016)

Neste trabalho, propôs-se a incorporação da escória gerada na etapa do refino secundário no forno panela e da escória do alto forno, oriundas de uma usina siderúrgica local, em formulações de cerâmica vermelha, para se avaliar o comportamento da plasticidade das argilas perante a incorporação dos rejeitos supracitados, e determinar em qual faixa as formulações propostas estão localizadas no gráfico de zonas de extrusão.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Incorporação da escória do forno panela e da escória de alto forno em formulações de massas para cerâmica à base de argila.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Utilizar argilas com diferentes plasticidades e incorporar nestas as escórias.
- ✓ Determinar a composição químico-mineralógica das matérias primas utilizadas.
- ✓ Realizar os ensaios de limite de liquidez e plasticidade para verificar o comportamento da plasticidade de formulações com a adição de rejeitos.
- ✓ Fazer uma avaliação das zonas de extrusão das formulações desenvolvidas neste trabalho.

3. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

3.1. ARGILA

As argilas são utilizadas pelo homem desde as antiguidades nas mais diversas aplicações na produção de utensílios domésticos e adornos de barro (SOUZASANTOS, 1992). São componentes de uma grande parte de solos, e podem ser encontradas no estado puro em depósitos minerais, em seu ambiente de formação e em ambientes naturais (CALLISTER, 2002). A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade; quimicamente, são as argilas formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. Designa ainda o nome “argila” um grupo de partículas do solo cujas dimensões se encontram entre uma faixa específica de valores. Todas as argilas são constituídas essencialmente por partículas cristalinas extremamente pequenas de um número restrito de minerais conhecidos como “argilominerais”. Uma argila qualquer pode ser composta por partículas de um argilomineral ou por uma mistura de diversos argilominerais (SOUZA SANTOS, 1992).

Argilominerais são silicatos de Al, Fe, e Mg hidratados, com estruturas cristalinas em camadas (são filossilicatos), constituídos por folhas contínuas de tetraedros SiO_4^- , ordenados de forma hexagonal, condensados com folhas octaédricas de hidróxidos de metais tri e divalentes (CERRADO, 2004).

As argilas apresentam uma enorme gama de aplicações, tanto na área de cerâmica como em outras áreas tecnológicas. Pode-se dizer que em quase todos os segmentos de cerâmica tradicional a argila constitui total ou parcialmente a composição das massas. De um modo geral, as argilas que são mais adequadas à fabricação dos produtos de cerâmica vermelha apresentam em sua constituição os argilominerais ilita, de camadas mistas ilita-montmorilonita e clorita-montmorilonita, além de caulinita, pequenos teores de montmorilonita e compostos de ferro. (ABCERAM, 2016)

3.1.1. Tipos de Argilas

Souza Santos (1992) apresenta em seu livro “Tecnologia de Argilas” um glossário dos tipos de argilas entre as quais se destacam:

- ✓ Argila natural: É uma argila que foi extraída e limpa, e que pode ser utilizada em seu estado natural, sem a necessidade de adicionar outras substâncias.
- ✓ Argila refratária: Argila que adquire este nome em função de sua qualidade de resistência ao calor.

Chulim ou argila da china: Argila primária, utilizada na fabricação de massas para porcelanas.

- ✓ Argilas de bola (Ball-Clay): São argilas secundárias muito plásticas, de cor azulada ou negra, apresenta alto grau de contração tanto na secagem quanto na queima.
- ✓ Argilas para grês: Argila de grão fino, plástica, sedimentária e refratária - que suporta altas temperaturas.
- ✓ Argilas vermelhas: São plásticas com alto teor de ferro resistem a temperaturas de até 1100° C, porém fundem em uma temperatura maior e podem ser utilizadas com vidrados para grês.
- ✓ Bentonita: Argila vulcânica muito plástica contém mais sílica do que alumínio se origina das cinzas vulcânicas.

3.1.2. Plasticidade das argilas

Plasticidade de uma argila é uma propriedade importante das argilas, a qual consiste na maior ou menor capacidade de serem moldadas, em certas condições de umidade sem que ocorra variação de volume. É a propriedade que se manifesta na mudança de forma sem rotura de uma massa feita com argila e água por aplicação de uma força exterior e pela retenção da forma quando a força é removida ou reduzida abaixo de certo valor, correspondente à chamada tensão de cedência. O termo trabalhabilidade usa-se também, por vezes, como sinônimo de plasticidade.(ALVES, 2016)

O grau de deformação de uma pasta de argila, até entrar em rotura, aumenta progressivamente até determinado valor em função do conteúdo em água. A água, em quantidade adequada, funciona como um lubrificante que facilita o deslizamento das partículas umas sobre as outras sempre que uma tensão superficial é aplicada.Os principais fatores que afetam a plasticidade são a mineralogia, granulometria, forma dos cristais, carga elétrica dos cristais e o estado de desfloculação da argila.(VISA CONSULTORES, 2017)

3.1.3. Extração das argilas

A maioria das argilas brasileiras está depositada nas várzeas dos rios, constituindo aluviões recentes. Neste caso, a extração é a céu aberto. O plano de extração deve prever a remoção e disposição dos estéreis, a formação de bancos de extração que assegurem economia no transporte, a drenagem da água, a segurança no trabalho e o aproveitamento completo da jazida. Depois de esgotadas as jazidas, as cavas devem ser recuperadas para o ressurgimento da vegetação, e isso é facilmente conseguido com a redeposição dos solos aráveis, previamente retirados. As cavas alagadas podem ser usadas para fazer viveiros de criação de peixe, agregando valor ao empreendimento. (BACCELLI JÚNIOR, 2010)

Os equipamentos mais utilizados para a extração de argila são retroescavadeira, escavadeiras ou dragas. Estes equipamentos enchem os caminhões de caçambas basculantes que transportam as argilas para os pátios das fábricas, onde se formam grandes estoques para homogeneização e sazonalidade. No caso da lavra de folhelhos, frequentemente é necessário o uso de explosivos. (JÚNIOR, 2010)

3.1.4. Cerâmica Vermelha

A palavra cerâmica, originária do grego “KERAMEIKOS”, que quer dizer “feito de terra”, “coisa queimada”, tem, modernamente, um sentido amplo que abrange desde a arte de fabricar objetos de barro cozido até a matéria-prima, o artefato ou a fábrica de tais produtos. A cerâmica vermelha é assim chamada, porque possui coloração avermelhada no produto final, em função do tipo de matéria-prima utilizada. (CERÂMICA CEGAZA, 2016)

Tecnicamente, contudo, convencionava-se chamar de cerâmica todo e qualquer produto obtido pela moldagem e queima de uma mistura íntima de matérias-primas minerais, como características e propriedades específicas adequadas à fabricação do produto desejado.

Com a denominação de Cerâmica Vermelha, englobam-se produtos como o tijolo e suas variações, constituindo-se, de modo geral, por um grupo de produtos rústicos onde o acabamento dificilmente ocorre. (MEIRA, 2001)

3.1.5. Principais etapas do processo de fabricação de cerâmicas vermelhas

3.1.5.1. Seleção e preparação das matérias-primas

Grande parte das matérias-primas utilizadas na indústria cerâmica tradicional é natural, encontrando-se em depósitos espalhados na crosta terrestre. Após a mineração, os materiais devem ser beneficiados, isto é, desagregados ou moídos, classificados de acordo com a granulometria e muitas vezes também purificados. O processo de fabricação, propriamente dito, tem início somente após essas operações. As matérias-primas sintéticas geralmente são fornecidas prontas para uso, necessitando apenas, em alguns casos, de um ajuste de granulometria (ABCERAM, 2016).

O objetivo da moagem é diminuir, o máximo possível, o tamanho das partículas das matérias-primas envolvidas no processo e garantir a homogeneização da massa cerâmica dentro de uma distribuição granulométrica definida. Um alto grau de moagem pode influenciar na reatividade entre os vários componentes durante a queima devido à maior área de contato superficial entre as partículas, e com isso contribuir na melhoria da resistência mecânica do material queimado (OLIVEIRA, 2000).

Na moagem das matérias-primas, devem ser distinguidas diferentes etapas de redução, todas em função do seu tamanho médio de partículas e pode ser feito a partir de britadores, cujo objetivo básico é a ruptura de material em tamanhos compreendidos entre 5 cm e 1 cm; os trituradores ou desagregadores, para tamanhos próximos ao milímetro, e os moinhos até a distribuição granulométrica desejada. A dureza das matérias-primas a moer passa a ser fator determinante na seleção do equipamento. Um dos equipamentos mais utilizados no processo de moagem é o moinho de bolas (HECK, 1996).

3.1.5.2. Secagem

Após a etapa de moagem e de conformação, as peças em geral continuam a conter água, proveniente da etapa de cominuição e preparação da massa (se no caso forem a úmido). Para evitar tensões e, conseqüentemente, defeitos nas peças, é necessário eliminar essa água, de forma lenta e gradual, em secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas variáveis entre 50 °C e 150 °C (ABCERAM, 2015).

A operação de secagem é considerada aparentemente simples, uma vez que os fenômenos físicos que são verificados durante a evaporação de umidade residual das massas cerâmicas são evidentes e controláveis. O único problema neste caso é exclusivamente do equipamento a ser utilizado nesta etapa. Com a evaporação da água residual, nota-se um aumento na resistência mecânica da peça cerâmica crua, e que é atribuída pela densificação provocada pelo empacotamento e atração de partículas que aumentam as forças de ligação entre elas (BRISTOT, 1996).

É um processo térmico que realiza a eliminação de grande parte da água de constituição e de adição, e depende de alguns fatores: estado do ar (temperatura e umidade), a quantidade de ar em contato com o material a secar, a superfície específica do material (relação superfície/volume) e a natureza do material (NAVARRO et al, 1997).

3.1.5.3.Prensagem

As partículas das matérias-primas (aglomerados) são comprimidas até um menor volume possível, por meio de uma pressão exercida, obtendo-se um empacotamento e agregação destas partículas. O empacotamento vem a ser o preenchimento total ou parcial dos espaços, com o uso de partículas que podem ser de formatos irregulares ou arredondados. Sendo assim, pode-se obter alta densidade aparente a cru, mas que seja compatível com os problemas de “coração negro” ou desgaseificação, que podem ocorrer durante a etapa de queima. (OLIVEIRA, 2000).

Para a fabricação de peças de revestimentos cerâmicos são utilizadas prensas hidráulicas para a compactação dos aglomerados, conferindo-lhes além da resistência mecânica a cru, a forma geométrica desejada. Tais prensas são equipamentos onde a ação da prensagem se dá mediante a transformação de energia hidráulica em força de deformação. Um pistão de duplo efeito que se move no interior de um êmbolo é o órgão principal do movimento da máquina. Estas prensas têm como características principais a constância na força de prensagem, que influencia diretamente na retração das peças cerâmicas após a queima pela pressão de compactação, ou seja, quanto maior a pressão de prensagem, menor será a retração do produto acabado e vice-versa; a granulometria; a umidade e a distribuição de pó nos estampos, que são condições que afetam o pó a prensar e, a constância no tempo do ciclo de prensagem que dá condição à alta produtividade (RIBEIRO et al, 2001).

Pode-se dizer ainda que em peças com alta densidade aparente a cru, são encontrados valores de umidade do pó elevados ou uma maior pressão de compactação. Estas três variáveis são

importantes, pois determinam as características do módulo de ruptura das peças cruas e queimadas, a absorção de água e a retração linear após a queima (MOTTA et al, 2002)

3.1.6. Indústria cerâmica no Brasil

A cerâmica vermelha abrange um grupo de materiais cerâmicos constituído por tijolos, telhas, tubos, lajotas, vasos ornamentais, agregados leves de argila expandida etc., geralmente fabricados próximos dos centros consumidores, utilizando matérias-primas locais. As matérias-primas são argilas e siltes argilosos, com alto teor de impurezas, entre as quais se destacam minerais de ferro, responsáveis pela cor vermelha típica dos produtos. A cada dia que se passa é muito grande o consumo de telhas e tijolos no Brasil. As razões desse aumento são várias, a principal delas é o aumento populacional. Com o surgimento dos grandes centros, provocado pelo deslocamento do homem para a metrópole em busca da necessidade de melhores condições de vida da espécie humana. (JÚNIOR, 2005)

No Brasil convencionou-se definir o Setor Cerâmico em segmentos que se diferenciam pelos produtos obtidos e mais precisamente pelos mercados que estão inseridos. (BUSTAMANTE, G. M., 2000). A Tabela 1 apresenta esses setores.

Tabela 1: Setor Cerâmico definido em segmentos.

Segmento
Cerâmica Estrutural (Vermelha)
Revestimento (pisos e azulejos)
Matérias Primas Naturais
Refratários
Cerâmica Técnica, Especiais.
Sanitários
Louça de Mesa e adorno
Fritas, Vidrados e Corantes.
Matérias Primas sintéticas
Cerâmica Elétrica
Equipamentos para Cerâmica
Abrasivos

Fonte: Bustamante (2000)

3.1.7. Especificações

A composição mineralógica, química e física das argilas é importante para a confecção de peças cerâmicas, pois, isoladamente ou combinada, essas propriedades conferem as características de trabalhabilidade no preparo e conformação das peças e a sinterização no processamento térmico, dando a resistência mecânica necessária. No entanto, para a caracterização e indicação de uma argila para um determinado uso cerâmico, utilizam-se ensaios experimentais padronizados, ou composição das massas feitas de forma empírica, com base na experiência do técnico ou do oficial prático cerâmico. Neste último caso, o processo 24 pode ser variável de local para local e dificulta a padronização de formulações e, consequentemente de especificações de matérias-primas para os diferentes usos industriais (ALMEIDA et al, 2001).

Segundo Souza Santos (1989), para determinar os usos potenciais de uma argila plástica para cerâmica vermelha (tijolos de alvenaria, telhas, ladrilhos de piso e manilhas), deve-se seguir os seguintes passos:

- 1) A argila deve ser submetida a uma caracterização tecnológica, que consiste, basicamente, na realização de ensaios de laboratório: análise granulométrica, umidade, limite de plasticidade e ensaios cerâmicos em corpos de prova (7,0 x 2,0 x 1,0 cm) moldados manualmente.
- 2) Esses a seguir são levados ao forno para queima em temperaturas que variam de 950 a 1250°C. Após a queima os corpos de prova são submetidos a ensaios físicos (Normas ABNT) de: retração linear (%), tensão de ruptura à flexão (kgf/cm² ou MPa), absorção de água (%), porosidade aparente (%), massa específica aparente (g/cm³) e cor após a queima.
- 3) A partir das características das cerâmicas no estado cru e após a queima nas diferentes temperaturas, comparam-se os valores medidos com os valores-limites requeridos para cada uso na fabricação de tijolos, telhas, ladrilhos de piso etc.

Para a fabricação de tijolos, as argilas devem ser moldadas facilmente, apresentar valores de tensão de ruptura de médio a elevados, cor vermelha após a queima, poucas trincas e empenamentos. Deve ainda apresentar teores elevados de ferro divalente e baixos teores de elementos alcalinos e alcalino-terrosos.

Para fabricação de telhas, as argilas devem ter plasticidade adequada para a moldagem, tensão de ruptura à flexão elevada quando secas, de forma a permitir o manuseio durante o processo de fabricação. Após a queima deve apresentar baixa porosidade aparente e baixa absorção de água e não apresentar trincas e empenamentos após secagem e queima. A cor, após a queima, deve ser vermelha, visto que a tradição do mercado brasileiro é pelas cores vivas, variando de alaranjado ao vermelho. Por outro lado, argilas com baixo teor de ferro resultam em telhas de cores claras, com características cerâmicas também adequadas para fabricação de telhas e tijolos. Ressalta-se que, em relação à cor, atualmente há uma aceitação crescente, sobretudo nas regiões costeiras, com destaque no Nordeste, de telhas brancas ou claras.(SANTOS, 1989)

3.2.ESCÓRIAS

As escórias produzidas na siderurgia são a escória de alto-forno, de aciaria LD(A sigla LD deve-se ao fato do aço ser produzido no conversor de oxigênio tipo LD - Linz-Donawitz), do forno elétrico e do forno-panela. As escórias são essenciais para o refino do aço, pois essas são responsáveis pela absorção dos elementos indesejáveis à formulação do aço, além também de isolar o banho da atmosfera evitando, assim, a perda da temperatura e a reoxidação do ferro. (LOBATO, 2014)

Por exemplo, no alto-forno, durante o processo de redução, o minério é exposto a temperaturas elevadas e as impurezas contidas na carga são separadas do metal fundido e removidas sob a forma de escória. Da mesma forma, durante o refino do aço (forno LD, forno elétrico, ou forno-panela), as impurezas são separadas através da geração da escória. A separação da escória da fase metálica se dá devido à imiscibilidade e à diferença de densidade entre as duas fases. Assim, a escória é eliminada sempre na forma líquida, passando em sequência pela etapa de solidificação. Cada tipo de solidificação confere a esse material características diferentes acarretando, portanto, empregabilidades distintas. As escórias são constituídas por óxidos, como SiO_2 , Al_2O_3 , CaO e MgO , e silicatos como FeO.SiO_2 , MnO.SiO_2 e CaO.SiO_2 . São os resíduos com maior volume de geração em uma usina siderúrgica, sendo consideradas por muitos como coprodutos. Mas apesar da vasta aplicação na indústria civil, parte desse material ainda é estocada e, portanto, novas formas de gerenciamento são requeridas. (LOBATO, 2014)

3.2.1 Escória de Alto forno

A escória de alto-forno é gerada a partir da fusão das impurezas contidas no minério de ferro (como sílica e alumina), juntamente com os componentes do fundente (calcário e dolomita) e as cinzas do coque ou carvão vegetal. São gerados por volta de 200 a 400kg de escória por tonelada de gusa para altos-fornos à coque, e de 150 a 300kg por tonelada de gusa para altos-fornos movidos a carvão vegetal (JACOMINO et al., 2002; SOUZA JÚNIOR, 2007).

Sua composição é constituída principalmente por óxido de silício (SiO_2), óxido de cálcio (CaO), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de magnésio (MgO) e óxido de ferro (FeO , Fe_2O_3). A concentração de cada um desses óxidos é decorrente da constituição química da matéria-prima (minério de ferro, redutor, calcário ou cal) utilizada no processo de fabricação, além do tipo de refratário usado na parede do forno.

Este resíduo é classificado normalmente como um resíduo classe IIB (não perigoso e inerte) segundo a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004). No entanto pode ser classificado como um resíduo classe IIA (não perigoso e não inerte) caso apresente concentração de alumínio superior ao limite máximo estabelecido pela legislação (ALMEIDA; MELO, 2001).

3.2.2 Escória de Forno panela

O processo que ocorre no forno-panela consiste, basicamente, no acerto da composição química e temperatura do aço líquido que será posteriormente enviado ao lingotamento contínuo para ser solidificado.

O aço líquido vazado do refino primário (aciaria LD ou aciaria elétrica) é conduzido para uma estação de refino secundário, como, por exemplo, o forno panela. Assim há a formação de uma nova escória devido à adição de desoxidantes e de cal - chamada de escória de refino redutor - que tem como objetivo contribuir para eliminação do oxigênio e do enxofre do aço líquido (MASUERO; VILELA; DAL MOLIN, 2004).

A escória de refino redutor é normalmente vazada em uma panela e/ou descarregada em locais onde possa solidificar em forma cristalina (GEYER, 2001).

Entre as principais funções da escória estão: captar inclusões não-metálicas e elementos indesejáveis contidos no aço, como o enxofre, proteger o aço líquido contra a reoxidação, evitar a absorção de hidrogênio e nitrogênio pelo contato com a atmosfera, minimizar as perdas térmicas, impedir a exposição do arco elétrico, otimizando o aquecimento do aço e evitando desgastes excessivos do refratário da panela (ASTH, 2011).

Sua composição apresenta óxidos de cálcio, magnésio, silício, ferro e manganês, cujas quantidades e concentrações são decorrentes da constituição química da matéria-prima utilizada no processo, além do tipo de refratário usado na parede do forno. Esta escória possui composição química diferente em comparação com a escória de aciaria LD, com um teor significativamente inferior em óxidos ferrosos, além de uma menor granulometria (PAPAYIANNI; ANASTASIOU, 2012).

3.3.EXTRUSÃO

A extrusão é usada para o processamento de produtos cerâmicos há mais de 150 anos, tendo a tecnologia sofrido pequenas alterações a partir da década de 50 do século passado. No entanto este processo de conformação industrial tem se revelado essencial nas indústrias cerâmicas de barro vermelho (telhas e tijolos). É uma técnica de produção associada a uma elevada produtividade, principalmente para produtos de seção transversal constante (tijolo) e muito importante em termos de homogeneização e retirada do ar da massa. A plasticidade das massas interfere na qualidade final dos produtos extrudados. Para isso deve-se, sempre que possível, extrudar as massas na zona de máxima plasticidade evitando situações desvantajosas em termos de extrusão. Nas massas com elevados teores de umidade, perto do limite líquido (L), facilmente ocorre o deslizamento entre partículas, pelo que a massa argilosa tenderá a agarrar-se às hélices da extrusora e fluir pelo centro da fiação com maior velocidade. Algo semelhante ocorrerá se diminuirmos o teor de umidade e trabalharmos abaixo da zona de máxima plasticidade. O atrito nas paredes da extrusora aumenta e a massa argilosa tenderá também a fluir com maior velocidade no centro, enquanto que as forças de compressão desenvolvidas no interior da extrusora e o desgaste dos diversos componentes metálicos aumentam. (RIBEIRO, M. J. *et al.*, 2003)

As forças de compressão no interior de uma extrusora apresentam dois picos em zonas diferentes. O primeiro, de baixa intensidade, surge logo no fim da primeira hélice junto ao cortador interno na entrada da câmara de vácuo, onde surge a primeira restrição à passagem

da massa. O outro pico, com início na zona de pré-compressão e máximo à entrada da sobre boca, tem maior intensidade e define a zona onde se desenvolvem as forças de compressão do material e onde se desenvolvem desgastes elevados dos componentes da extrusora. (RIBEIRO, M. J. *et al.*, 2003)

Quanto menos plástica for a massa argilosa, maior sensibilidade terá a possíveis variações de umidade. Uma variação de 1, 2 ou 3% de umidade numa massa plástica poderá não se notar em termos de extrusão, mas numa massa magra provocará uma alteração total da plasticidade a das condições de fluxo através da boquilha, devido à menor força de coesão entre as partículas. Dado que as condições de fluxo do material argiloso através da extrusora dependem basicamente da suaplasticidade, compreende-se facilmente a necessidade de manter o mais constante possível as características da massa (composição, grau de moagem, teor de umidade, etc.) para que o valor da plasticidade se mantenha. Nesse sentido pode-se observar como diferem as pressões de extrusão e consequentemente os gastos com energia elétrica no motor, quando se extruda duas massas com plasticidades muito diferentes. (RIBEIRO, M. J. *et al.*, 2003)

De um modo geral, pode-se afirmar que argilas gordas com elevada plasticidade, deslizam melhor sobre a superfície da hélice, traduzindo-se numa maior pressão e, consequentemente, numa melhor homogeneização e compactação da massa argilosa na zona de saída (boquilha). Por outro lado, argilas magras, de baixa plasticidade, grão áspero e elevado atrito, devem ser utilizadas no fabrico de peças com grande seção de saída, o que pressupõe menor travamento no molde e menor pressão de extrusão. (RIBEIRO, M. J. *et al.*, 2003)

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

Três argilas foram utilizadas neste trabalho:

- ✓ Argila magra (AM): denominada desta maneira pelo fornecedor, por resultar do menor tempo de sazramento aplicado. É tratada neste trabalho como sendo a de menor plasticidade
- ✓ Argila gorda (AG): proveniente do lote por mais tempo sazornado, e, portanto, deveria apresentar maior plasticidade. Ambas foram fornecidas pela Cerâmica Castanheira Ltda., localizada em Marabá, Pará.
- ✓ Argila APA: proveniente da área de preservação ambiental (APA) da empresa Vale, situada na cidade de Parauapebas, Pará, descoberta pelos integrantes do projeto Mulheres de Barro que é financiado pela própria empresa.

Para a incorporação da escória do forno panela (EFP), as argilas utilizadas nas formulações foram AG e AM. As argilas foram secas e posteriormente maceradas com almofariz e pistilo e, em seguida passadas em peneira de forma a apresentarem a granulometria adequada de 100 mesh Tyler. O rejeito EFP foi fornecido pela Siderúrgica Norte Brasil S.A., localizada no Distrito Industrial da cidade de Marabá, Pará.

Os rejeitos foram destorroados com almofariz e em seguida passados em peneira de forma a apresentarem a granulometria adequada de 100 mesh Tyler (A Figura 1 mostra a escória de Alto forno com essa granulometria).

Para a incorporação da escória de Alto forno (EAF) foi utilizada a argila APA. A escolha dessa argila se deu devido a uma investigação para se determinar as características plásticas de algumas argilas ainda não caracterizadas, coletadas para futuros trabalhos do Grupo de Pesquisa. Dentre as argilas não caracterizadas, duas foram utilizadas como base para construção de curva dos índices de plasticidade: VR13 e VS10 (também oriundas do projeto mulheres de barro da empresa Vale).

4.2.METODOLOGIA

Para a análise das propriedades das massas com a adição do EFP, foram determinadas seis formulações, sendo uma composta apenas de argila gorda (F0G), outra com 100% de argila magra (F0M) e a terceira com 50% de AG e 50% de AM. Nas demais formulações, teve-se a adição do EFP (Tabela 1).

Na análise das propriedades com a adição da EAF foram determinadas quatro formulações, sendo a primeira com 100% da argila APA para efeito de comparação e as demais com adição da EFP (6%, 12% e 15% de rejeito, respectivamente) como mostra a Tabela 3.

Para a determinação do índice de plasticidade (IP) e das zonas de extrusão, foram utilizadas as mesmas formulações citadas anteriormente.

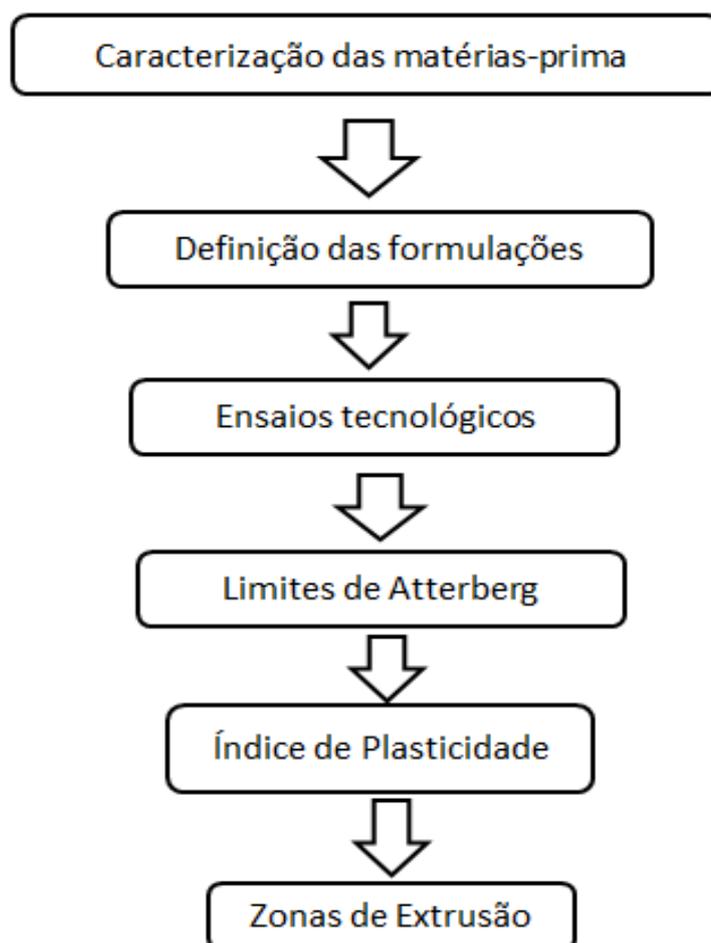
A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada no trabalho para ambos os rejeitos.

Tabela 2: Formulações desenvolvidas para avaliar a incorporação da EFP.

IDENTIFICAÇÃO	AM(%)	AG(%)	EFP(%)
F0G	0	100	0
F0M,	100	0	0
F1	50	50	0
F2	46	46	8
F3	43	43	14
F4	42	42	16

Fonte: AUTOR(2016)

Figura 1: Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho para a incorporação das EFP e EAF.



Fonte: Autor, 2017

Em seguida, são apresentadas (Tabela 3) as formulações desenvolvidas para avaliar a incorporação da EAF.

Tabela 3: Formulações desenvolvidas para avaliar a incorporação da EAF.

IDENTIFICAÇÃO	ARGILA APA (%)	EAF (%)
A0	100	0
A1	94	6
A2	88	12
A3	86	15

Fonte: AUTOR (2016)

4.2.1. Ensaio tecnológicos

4.2.1.1. Limite de Plasticidade (LP)

O Limite de Plasticidade é tido como o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço; é a umidade de transição entre os estados plástico e semissólido do solo. Em laboratório o LP é obtido determinando-se o teor de umidade no qual um cilindro de um solo com 3 mm de diâmetro e cerca de 100 mm de comprimento apresenta-se fissuras de acordo com a NBR 7180/84, como mostra a Figura 3.

Esse comportamento plástico tem como base de suas características o gráfico tensão-deformação. Um corpo é elástico quando, após ter ficado um tempo descansando, volta ao seu estado inicial, e plástico quando não retorna.

Figura2– Ensaio de limite de plasticidade.



Fonte: Autor, (2017).

4.2.1.2. Limite de Liquidez (LL)

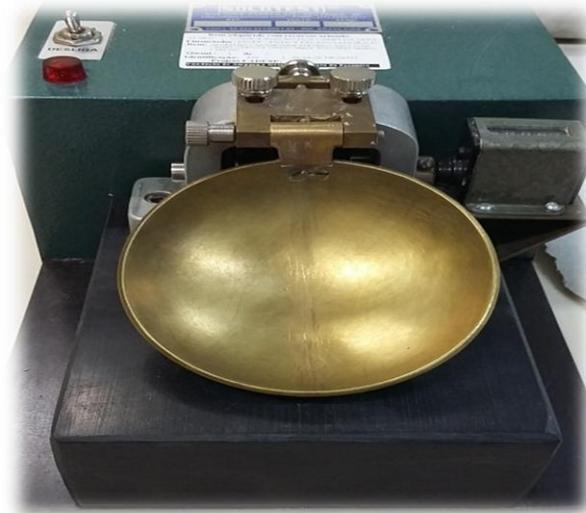
Limite de Liquidez (ensaio mostrado na Figura 4) é definido como a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico; é a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo. Experimentalmente, corresponde ao teor da umidade com que o solo fecha certa ranhura sob o impacto de 25 golpes do aparelho de Casagrande (Figura 5), de acordo com a norma NBR 6459/84. No referido equipamento, são feitas várias tentativas, com diferentes níveis de umidade, a ranhura se fecha com diferentes números de golpes.

Figura 3: Ensaio do Limite de Liquidez



Fonte: Autor, (2017).

Figura 4: Aparelho Casagrande



Fonte: Autor, (2017).

4.2.1.3. Índice de Plasticidade (LP) e Zonas de extrusão (ZE)

O índice de plasticidade de uma argila é determinado pela diferença entre seu limite de liquidez (LL), que é o teor limite entre o estado líquido e o plástico, e o limite de plasticidade (LP) que consiste no teor de umidade limite entre o estado sólido e o semi-sólido.

O LP é determinado pelo mínimo teor no qual é possível moldar um cilindro de solo com 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento sem fissurar, de acordo com a NBR

7180/84 (BASTOS, 2005). Valores de IP menores do que 7% indicam que o solo é fracamente plástico, entre 7 e 15% medianamente plástico e acima de 15% altamente plástico.

A partir do índice de plasticidade e do limite de plasticidade pode-se construir o gráfico para classificação destas amostras em zona de extrusão ótima e zona de extrusão aceitável. Para uma extrusão aceitável a amostra deve apresentar índice de plasticidade entre 10 e 34% e limite de plasticidade entre 18 e 31%. No entanto, para uma extrusão ótima os valores para IP devem estar entre 15 e 25% e os de LP entre 18 e 25% (PAES SANTOS et al, 2012). Tais representações gráficas são de extrema importância, pois indicam a viabilidade de uma massa cerâmica poder ser conformada pela extrusora, de modo a não apresentar defeitos que possam vir a inutilizar as peças à verde para o posterior processo de queima, causando maiores custos de produção.

4.2.2. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS MATÉRIAS PRIMAS

Foi realizada a caracterização das principais matérias-primas utilizadas neste trabalho. A técnica utilizada foi a espectroscopia de fluorescência de raio-X (FRX) utilizando-se o equipamento EDX 700 da Shimadzu (UAEM-UFCG)

4.2.3. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DAS MATÉRIAS PRIMAS

Foi feita através da determinação das fases mineralógicas por difratometria de raios-X pelo método do pó, por intermédio de um difratômetro da marca RIGAKU, modelo MINIFLEX 600, utilizando-se a radiação monocromática $K\alpha$ -Cu e 2θ , variando de 5° a 90° , com passo de $0,02^\circ/\text{grau}$, velocidade de $10^\circ/\text{min}$, voltagem de aceleração de 40 KV e corrente de 15 mA. As fases cristalinas foram identificadas por comparação entre as intensidades e as posições dos picos de difração com os valores tabelados pelo JCPDS (Joint Committee of Power Diffraction Standards).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização de todos os experimentos os resultados foram analisados de forma comparativa: o comportamento da plasticidade das argilas puras e após a incorporação das escórias do forno panela e alto forno. Os resultados dos ensaios tecnológicos foram também comparados às normas correspondentes visando avaliar a viabilidade do uso dos rejeitos supracitados.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

5.1.1 Caracterização química

A seguir (Tabela 4) são mostrados os resultados da análise de composição química em termos de óxidos, das argilas AG e AM, além da escória do forno panela.

Tabela 4: Composição química das AG e AM e EFP

Composição%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	MnO ₂
AM	59,48	29,98	5,54	2,57	1,30	0,43	0,69	0,00
AG	59,24	30,43	6,46	1,45	1,18	0,05	1,02	0,00
EFP	28,85	4,57	12,01	0,10	11,85	38,63	0,39	2,32

Fonte: Autor,(2016).

As argilas empregadas neste trabalho mostraram composição química semelhante, mesmo sendo previamente classificadas pelo fornecedor com diferentes níveis de plasticidade. Neste caso, era esperado um menor teor de SiO₂ por parte da argila gorda, fato que não foi observado. Talvez o processo de sazonalidade aplicado pelo fornecedor deva ser melhorado para que ocorra uma maior lixiviação da sílica livre da argila. Este fato influenciou diretamente os resultados de plasticidade determinados.

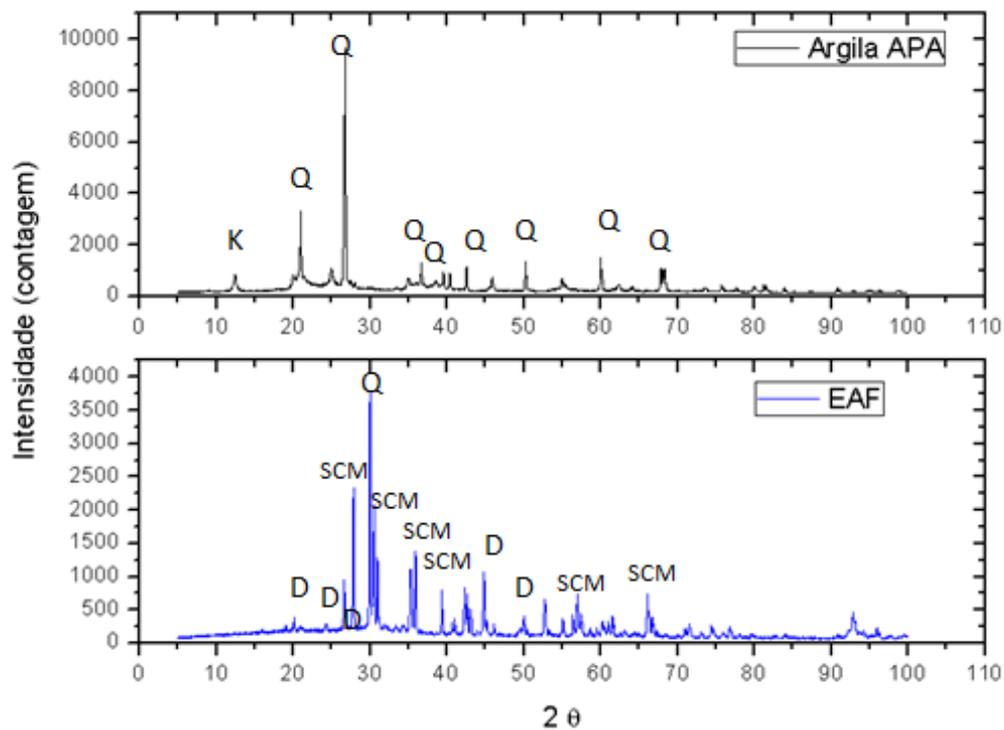
A escória de forno panela apresentou composição rica em óxidos de cálcio e magnésio, além de Fe₂O₃ e SiO₂. Todos estes componentes comprometem a plasticidade da argila, como também observado a seguir.

5.1.2 Caracterização mineralógica

A caracterização mineralógica da argila APA e da EAF foi determinada por Difractometria de Raios-X (DRX). Os picos relacionados a cada fase foram identificados. Os difratogramas apresentados na Figura 6 representam a argila APA e a escória de alto forno.

Observou-se a partir dos picos que as principais fases encontradas na argila APA foram a caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), representada por K, e o quartzo (SiO_2), simbolizado pela letra Q, sendo que a primeira confere plasticidade a argila por ter maior superfície de contato devido a sua estrutura ser em forma de lâminas, enquanto o segundo reduz a plasticidade por ter estrutura tetraédrica.

Figura 5: Difratograma de raios -X da argila APA e da EAF.



Fonte: Autor, (2017).

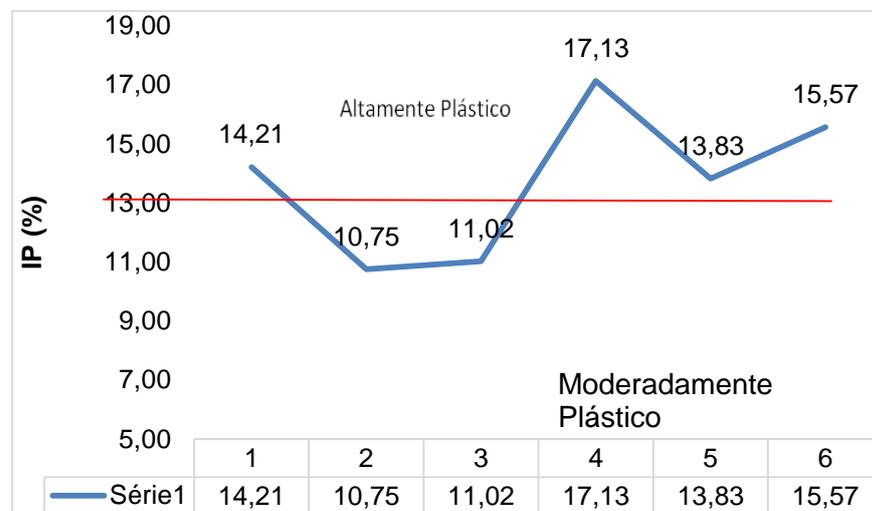
Na escória de alto forno estão presentes como fases cristalinas os silicatos de Ca, Mg (SCM) e Fe, tal como o diopsídio subsilício férrico (D) e o quartzo (Q).

5.2 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

5.2.1 Índice de plasticidade (IP)

A Figura 6 representa graficamente os valores de Índice de plasticidade de todas as formulações usadas para a incorporação da EFP.

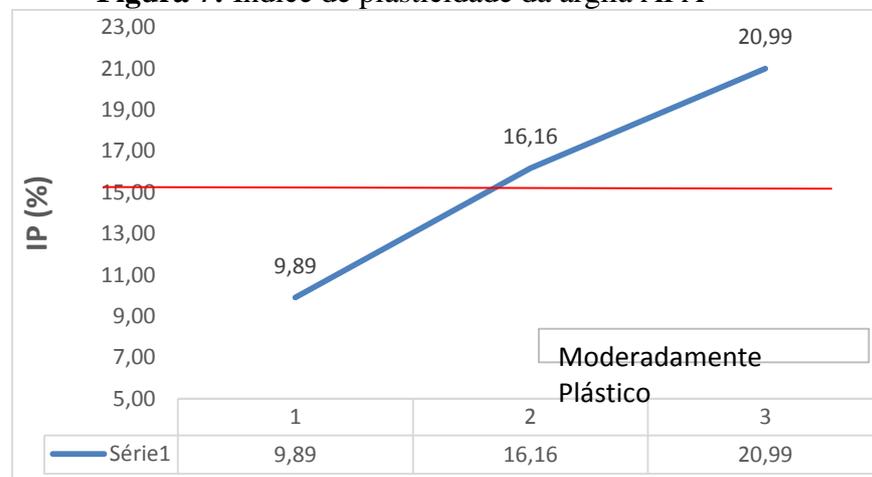
Figura 6: Índice de plasticidade das formulações usadas para a incorporação da EFP



Fonte: Autor, (2017).

A Figura 7 apresenta os valores do índice de plasticidade das argilas APA, VR13 e VS10, sendo que as duas últimas foram usadas apenas para a obtenção da curva gerada pelos valores de IP.

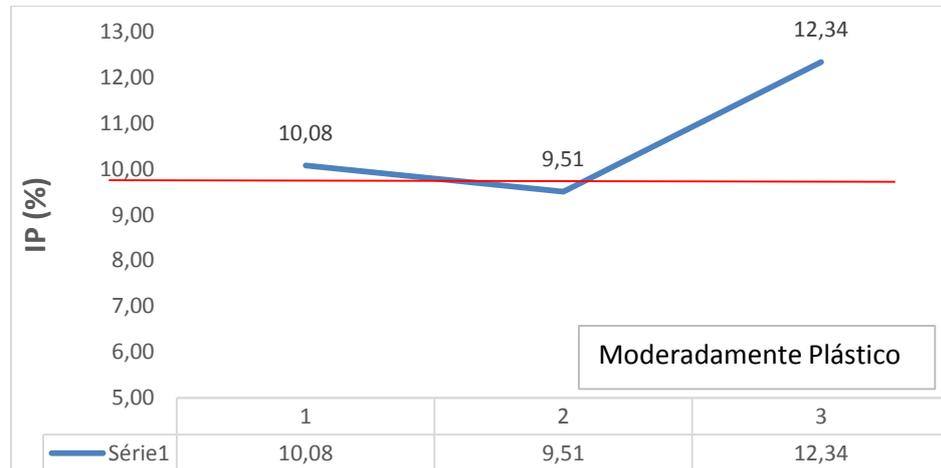
Figura 7: Índice de plasticidade da argila APA



Fonte: Autor, (2017).

A Figura 8 é a representação gráfica dos valores de índice de plasticidade das formulações após a incorporação da EAF.

Figura 8: Índice de plasticidade das formulações com adição de EAF.



Fonte: Autor, (2017).

As argilas são classificadas em fracamente plástica ($IP < 7\%$), medianamente plásticas (IP entre 7 e 15%) e altamente plásticas ($IP > 15\%$), essa classificação é segundo Papini (2013). Para o gráfico da Figura 10a argila APA mostrou um IP de 16,16%, ou seja, é uma argila altamente plástica.

Segundo Souza Santos (1992), são as seguintes as condições para uma argila apresentar plasticidade:

a) a plasticidade de minerais finamente moídos em presença de água é devida à presença de filmes estáveis de água na superfície das partículas;

b) minerais com clivagens definidas têm maior plasticidade do que os que não as têm pois as superfícies clivadas facilitam a orientação das moléculas de água, sendo os minerais de morfologia lamelar mais plásticos do que os que têm clivagem perfeita em outro hábito cristalino;

c) os argilominerais são os mais plásticos dos minerais de morfologia lamelar. A hematita, de acordo com sua morfologia, pode ser granular, lobular, martita, microcristalina e lamelar. Esta última é a que confere maior plasticidade às argilas.

Outros fatores que influenciam na plasticidade das massas cerâmicas são a relação entre as argilas gorda e magra, a quantidade de água utilizada, a granulometria das partículas e

a forma dos cristais. A presença de matéria orgânica também aumenta a plasticidade, pois funciona como uma “cola”, promovendo a aderência entre as partículas e aumentando a coesão após secagem (GRUN et al, 2005).

O índice de plasticidade da argila APA pura era de 16,16%, com a adição da EAF houve uma variação nesse índice. Com 6% de rejeito o IP baixou para 10,08 %, com 12% de rejeito o IP continuou diminuindo (foi para 9,51%), porém com maior % de rejeito (15%) o IP voltou a subir, ficando 12,34%.

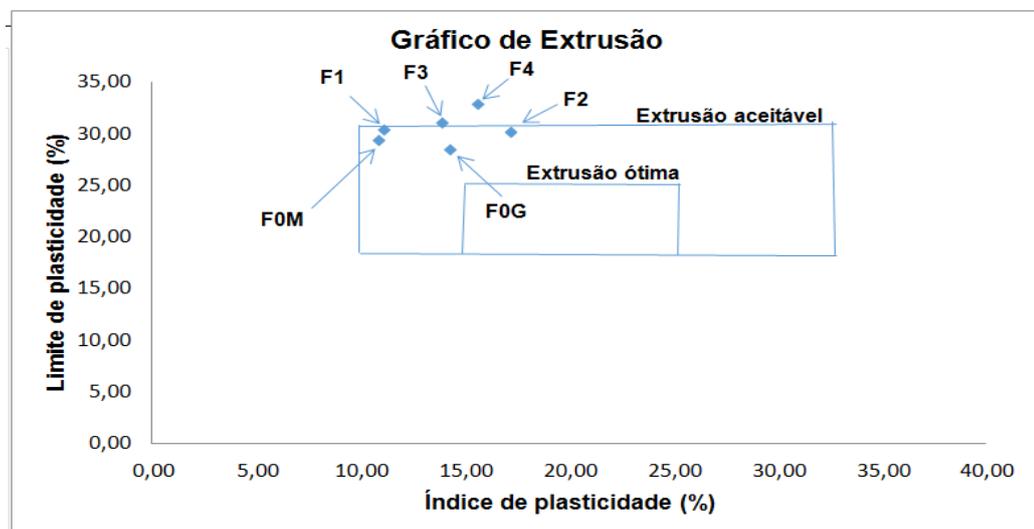
A argila gorda pura tinha IP de 14,21%, enquanto a argila magra, também pura, apresentou IP de 10,75%. Na formulação F3 (50% de AG e 50% de AM) o índice de plasticidade ficou em 11,02%. À medida que a EFP foi sendo adicionada nas formulações o IP continuou variando, ficando para F4, F5 e F6 o IP de 17,13%, 13,83% e 15,57% respectivamente.

5.2.2 Zonas de extrusão (ZE)

Como afirmado anteriormente, para uma extrusão aceitável a amostra deve apresentar IP entre 10 e 34% e LP entre 18 e 31%. No entanto, para uma extrusão ótima os valores para IP devem estar entre 15 e 25% e os de LP entre 18 e 25%.

A Figura 9 apresenta as zonas de extrusão em que ficaram localizadas as amostras utilizadas para a incorporação da EFP.

Figura 9: Zona de extrusão para as argilas magra e gorda e adição da EFP.

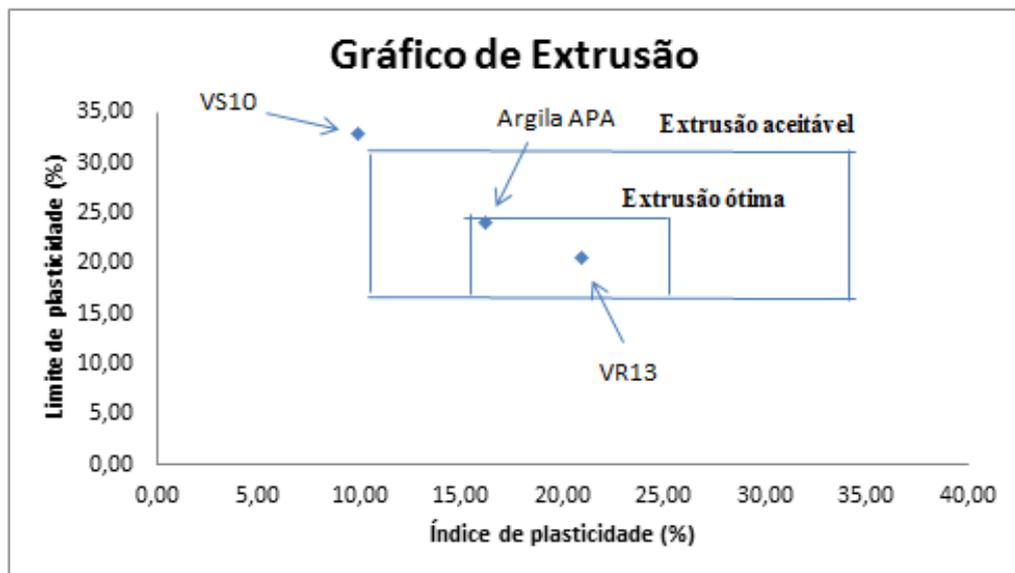


Fonte: Autor, (2017).

De acordo com o gráfico da Figura 10, quatro das amostras analisadas (F0M, F0G, F1 e F2) ficaram localizadas dentro da zona de extrusão aceitável, ou seja, o IP das mesmas está dentro dos limites que a norma exige; porém as formulações F0M, F0G e F1 tratam somente de argilas, e como esperado as formulações com adição de EFP apresentaram menor plasticidade. Das seis formulações analisadas, a que obteve o melhor resultado foi a F2 (com 8% de rejeito), ficando assim dentro da área de extrusão aceitável, o que significa que massa argilosa produzida a partir desta composição pode ser utilizada na prática.

Como mostra a Figura 10, a argila APA pura ficou localizada dentro da zona de extrusão ótima, pois apresenta IP de 16,16%, e isso significa que essa argila pode ser utilizada para fabricação de massas para extrusão de cerâmica estrutural, na qual a massa argilosa será submetida à extrusora (maromba). As argilas VS10 e VR13 mostradas na figura abaixo não foram usadas nas formulações desenvolvidas neste trabalho, mas apenas para comparar e gerar o gráfico de extrusão com a argila APA (utilizada para incorporação da EAF).

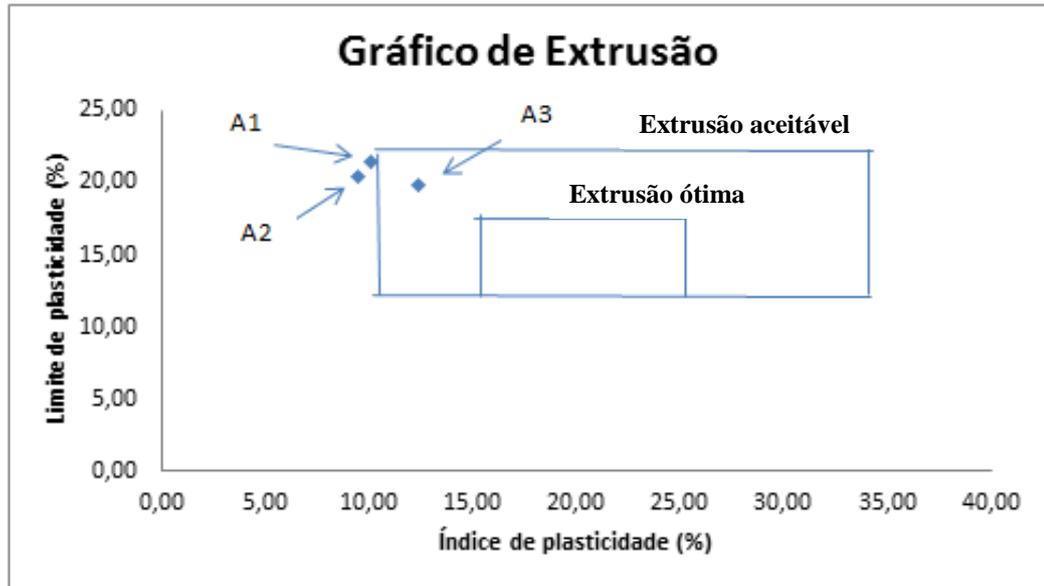
Figura 10: Zona de extrusão da argila APA, VS10 e VR13.



Fonte: Autor, (2017)

A Figura 11 apresenta as zonas de extrusão em que ficaram localizadas as amostras utilizadas com a incorporação da EAF. De acordo com o gráfico apresentado apenas A3 ficou dentro da zona de extrusão aceitável, a amostra com o IP de 12,34% (formulação com 15% de rejeito). As demais amostras (A1 e A2) ficaram fora das zonas de extrusão, o que significa dizer que massa argilosa produzida a partir dessa formulação não pode ser usada na prática.

Figura 11: Zona de extrusão das formulações com a adição da EAF.



Fonte: Autor, (2017).

5. CONCLUSÕES

Os resultados de composição química da AG, AM e EFP ajudaram a mostrar o motivo dos baixos níveis de plasticidade obtidos. Argilas ricas em SiO₂ apresentaram plasticidade dentro da zona aceitável, porém com a incorporação da EFP a plasticidade diminuiu e apenas F2 ficou dentro da área de extrusão aceitável. Conclui-se, portanto, que a EFP pode ser utilizada para preparação de massas para cerâmica vermelha, em teores menores que 10%.

Para a incorporação da EAF, as amostras A1 e A2 (com 6% e 12% de rejeito, respectivamente) ficaram fora da zona de extrusão; somente A3 (com 15% de EAF) ficou localizada dentro da zona de extrusão aceitável, porém esse resultado não era esperado. Levando em conta que a EAF tende a diminuir a plasticidade o natural seria que à medida que se aumenta a % de rejeito haja como consequência uma diminuição da plasticidade, esse fato pode ter ocorrido devido a erros experimentais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Marys Lene Braga; MELO, Gilberto Caldeira Bandeira de. **Alternativas de usos e aplicações dos resíduos sólidos das indústrias independentes de produção de ferro-gusa do estado de Minas Gerais**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

ALVES, L. M. Instituto Federal do Rio Grande do Norte. **Origem e formação do solo**. Disponível em: <docente.ifrn.edu.br>. Acesso em 26 de dezembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação**. Válida a partir de 30 de novembro de 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180 – Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Válida a partir de outubro de 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180 – Solo – Determinação do limite de liquidez**. Válida a partir de outubro de 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações Técnicas – Matérias-primas naturais**. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/?area=4&submenu=47>>. Acesso em 07 de dezembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Matérias primas naturais**. Disponível em: <abceram.org.br>. Acesso em 24 de fevereiro de 2017.

ASTH, Hudson Guerra. **Desenvolvimento de escórias de refino secundário para o forno panela da V&M do Brasil**. 2011. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Belo Horizonte.

BACCELLI JÚNIOR, G. **Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó-RN**. Disponível em <repositorio.ufrn.br> Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2010. Acesso em 18 de Fevereiro de 2017.

BRISTOT, V. M. **Máquinas e equipamentos para cerâmica**. Criciúma: Luana, 1996.

BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C. **Revista Cerâmica Industrial**. Disponível em: <www.ceramicaindustrial.org.br> Acesso em 18 de Fevereiro de 2017. 2000.

CALLISTER, J. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 5 ed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. 2002. 589p.

CARDOSO, M. A. **Reciclagem de escória de forno panela de aciaria elétrica em material cerâmico**. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USIN_c8ab05e56713eb14800a68fac2888a06> Acesso em 13, set. 2016.

CERÂMICA CEGAZA. **Histórico da Cerâmica vermelha.** Disponível em: <<http://www.cegaza.com.br/quemsomos.html>> Acesso em 8 de dezembro de 2016.

CERRADO, K. A. Clay structure, surface acidity and catalysis. In: AUERBACH, S. M. e al. **Handbook layered materials.** New Cork: Marcel dekker, 2004.P. 1-38.

FEIROSA, E. F. *et al.* **INCORPORAÇÃO DA ESCÓRIA DO FORNO PANELA EM FORMULAÇÃO CERÂMICA: ESTUDO DAS ZONAS DE EXTRUSÃO.** Artigo.Congresso brasileiro de engenharia e ciências dos materiais. Rio Grande do Norte, 2016.

GEYER, Rejane Maria Tubino. **Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto.** 2001. 187f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre.

HECK, C. **Gres porcelanato.** Revista Cerâmica Industrial, v. 1, n. 4/5, ago/dez, 1996.

JACOMINO, Vanusa Maria Feliciano; CASTRO, Luiz Fernando Andrade; RIBEIRO, Eduardo Delano Leite; LEÃO, Mônica Maria Diniz; SOUZA, Caetano Marciano de; GOMES, Abdias Magalhães; ALMEIDA, Marys Lene Braga; LOPES, Luiz Eduardo Furiati. **Controle ambiental das indústrias de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal.** Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. 302p.

JÚNIOR M. C.; MOTTA, J. F. M.; ALMEIDA, A. S. TANNO, L. C. **Argila para cerâmica vermelha.** Centro de Tecnologia Mineral. 2005.

LUNA, D. S.**Influência da incorporação da lama vermelha e da escória residual, na obtenção de cerâmica estrutural.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.2017.

LOBATO, N. C. C. **Gerenciamento de resíduos sólidos da indústria siderúrgica.** Disponível em <<http://www.ppgem.eng.ufmg.br/defesas/2182M.PDF>> Acesso em 24 de fevereiro de 2017. 2014

MOREIRA, C.C. **Características e Desempenho da Escória de Alto Forno como Agregado para Utilização em Camadas Granulares de Pavimentos.** 37º Reunião Anual de Pavimentação. Goiânia/GO, 2006.

MOTTA, J. F. M. et al. **As matérias-primas cerâmicas. Parte II: Os minerais industriais e as massas da cerâmica tradicional.** Revista Cerâmica Industrial, v. 7, n. 1, p. 33-40, jan/fev, 2002.

MEIRA, J. M. L. **Argilas: o que são, suas propriedades e classificações.** Disponível em <www.visaconcultores.com> Acesso em 18 de Fevereiro de 2017.

MASUERO, Angela Borges; VILELA, Antônio César; DAL MOLIN, Denise. **Estabilização e viabilidade técnica da utilização de escórias de aciaria elétrica.** Ambiente Construído (São Paulo), Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 57-82, 2004.

NAVARRO, J. E. et al. **Tecnologia cerâmica**. Valencia: Instituto de Química Técnica Universidad de Valencia, [s.n.]. V.2: Pastas ceramicas.

OLIVEIRA, A. P. N. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. Revista Cerâmica Industrial, v. 5, n, 6, p. 37-47, nov/dez, 2000.

PAPINI, C. A. **Materiais de construção civil: materiais cerâmicos**. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/AquilesCampagnaro/cermicas-26467332>> Acesso em 14, out. 2015.

PAPAYIANNI, Ioanna; ANASTASIOU, **Eleftherios**. **Effect of granulometry on cementitious properties of ladle furnace slag**. Cement & Concrete Composites, v.34, p. 400-407. 2012.

PAES SANTOS, C. V.; SILVA, A. R.; GUIMARÃES FILHO, M. A. S.; FAGURY NETO, E.; RABELO, A. A. **Índice de Plasticidade e Análise Racional de Argilas de Marabá (PA) para Avaliação das Zonas de Extrusão**. Revista Cerâmica Industrial, nº 17, V. 2, pg 25 – 27, Mar/Abr, 2012.

RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, A. A. L.; LABRINCHA, J. A. **Aspectos Fundamentais Sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelhas**. Revista Cerâmica Industrial, v.6, n.5, jan/fev, 2003.

RIBEIRO, M. J. et al. **A atomização como processo de obtenção de pós para a indústria cerâmica**. Revista Cerâmica Industrial, v.6, n.5, set/out, 2001.

SOUZA SANTOS, P. **Ciência e tecnologia de argilas**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgar. Blucher, 3v. 1992, 1089p.

THOMAZ, E. C. S. **Escória de Alto forno**. Disponível em <Faquarius.ime.eb.br> Acesso em 17 de fevereiro de 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **Espectrometria de energia dispersiva de raios-x – eds**. Disponível em: <http://www.degeo.ufop.br/laboratorios/microlab/mev.htm>> Acesso em 15 de março de 2017.

VISA CONSULTORES. **Argilas: O que são, suas propriedades e classificações**. Disponível em: <www.visaconsultores.com.br> .Acesso em 10 de janeiro de 2017.