

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PPGEM – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**MINAS, METALÚRGICA E DE MATERIAIS**

**JULIANA DIAS DE CASTRO FIGUEIREDO**

**APLICAÇÃO DE UMA FRAÇÃO DO RESÍDUO DO**  
**SHREDDER NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS**  
**ESTRUTURAIS**

Porto Alegre, 2016.

## **AGRADECIMENTOS**

À Prof. Dra. Rejane Maria Candiota Tubino pela orientação, disposição e conhecimento.

Ao meu amigo Eng. Álvaro Pugliese de Sá pela contribuição com conhecimento, atenção e amizade.

Aos meus pais pelo incentivo e carinho.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação de uma fração cuja fração granulométrica é menor que 2mm do resíduo do Shredder proveniente de uma indústria siderúrgica ao processo de fabricação de blocos cerâmicos estruturais de uma fábrica de cerâmica vermelha. As variáveis analisadas foram: dimensões, propriedades de resistência à compressão, absorção de água e quanto às questões ambientais pela análise de lixiviação e solubilização segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004). Foi realizado processamento do resíduo do Shredder em uma fração menor que 2mm e realizada a incorporação de uma dosagem de 10% e 20% deste material no processo industrial de uma cerâmica de produção de blocos estruturais. Foram avaliadas as propriedades de qualidade e quanto às questões ambientais. Analisando os resultados constatou-se que tanto o bloco cerâmico padrão quanto aos protótipos contendo 10% e 20% de resíduo atendem os limites normativos para resistência à compressão e para absorção de água. Na análise dimensional, somente o protótipo contendo 10% de resíduo atende todos os parâmetros quanto os requisitos normativos. Pelas análises de lixiviado e solubilizado, concluiu-se que tanto o bloco cerâmico estrutural padrão quanto ao protótipo contendo 20% de resíduo são classificados como Classe II A- não inerte. É possível afirmar que a fração menor que 2mm do resíduo do Shredder pode ser utilizada junto à massa cerâmica como matéria-prima para fabricação de blocos cerâmicos estruturais.

Palavras-chave: Resíduo do Shredder, cerâmica, resistência à compressão, absorção de água.

## **ABSTRACT**

The goal of this work is to evaluate the incorporation of a fraction smaller than 2 mm of the Shredder Residue from a steel industry into a manufacturing process of structural bricks in a red ceramic factory. Evaluate the quality of results as the compressive strength properties, water absorption and environmental issues as leaching and solubilization analysis according to NBR 10.004 (ABNT, 2004). The Shredder Residue in a fraction smaller than 2mm was incorporated in dosages of 10% and 20% with the clay in the industrial process of a ceramic which produces structural blocks. The quality properties and the environmental issues were analyzed and the results was that both brick pattern block and the prototypes containing 10% and 20% residue meet regulatory limits for compressive strength and water absorption. The analysis of leached and solubilized concluded that both the brick pattern and the prototype containing 20% of waste are classified as Class II A – non inert residue. It is possible to say that the fraction smaller than 2mm of Automotive Shredder Residue can be used with the clay as raw material for the manufacture of structural ceramic blocks.

**Keywords:** Shredder Residue, ceramic, compressive strength properties, water absorption

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma para classificação de resíduos .....	14
Figura 2: Fluxograma do processo .....	16
Figura 3: Fluxograma básico do triturador de sucatas.....	18
Figura 4: Fluxograma de Funcionamento do Shredder .....	18
Figura 5: Saída do resíduo após processamento.....	19
Figura 6: Resíduo do Shredder.....	19
Figura 7: Composição em massa de materiais na fração com granulometria >2mm.....	20
Figura 8: Composição da fração menor que 20mm.....	20
Figura 9: Composição da fração entre 20mm e 30mm.....	21
Figura 10: Composição da fração entre 30 e 100mm .....	21
Figura 11: Composição da fração maior que 100mm.....	21
Figura 12: Fluxograma do processo da cerâmica vermelha.....	22
Figura 13: Processo de mistura da massa cerâmica.....	24
Figura 14: Etapa de Extrusão .....	25
Figura 15: Corte.....	26
Figura 16: Fluxograma do procedimento experimental.....	36
Figura 17: Fluxograma do processo de geração do resíduo.....	37
Figura 18: Quarteamento amostra do resíduo .....	37
Figura 19: Peneira utilizada na preparação do material.....	38
Figura 20: Peneiramento da fração do funil.....	38
Figura 21: Fração <2mm.....	39
Figura 22: Fração <10mm>2mm.....	39
Figura 23: Fração <20mm>10mm.....	39
Figura 24: Coleta da amostra em uma das noites.....	40
Figura 25: Ilustração de peneiramento em peneira industrial .....	41
Figura 26: Resíduo sendo homogeneizado com a massa cerâmica .....	42
Figura 27: Exemplos contaminates que podem ser encontrado na fração de resíduo .....	42
Figura 28: Bloco cerâmico estrutural com 20% de resíduo do Shredder .....	43
Figura 29: Planta do bloco estrutural de paredes vazadas (unidades em mm).....	45
Figura 30: Representação esquemática do desvio em relação ao esquadro (D) *C/2 é a metade do comprimento.....	46

Figura 31: Representação esquemática do desvio em relação a flecha (F) para blocos estruturais – Planeza das faces .....	46
Figura 32: Comparação entre as resistências à compressão.....	58
Figura 33: Histograma e teste de normalidade para a resistência à compressão da amostra padrão .....	59
Figura 34: Histograma e teste de normalidade para a resistência à compressão da amostra 10%.....	59
Figura 35: Histograma e teste de normalidade para a resistência à compressão da amostra 20%.....	60
Figura 36: Comparação para absorção de água.....	65
Figura 37: Histograma e teste de normalidade para a absorção de água da amostra padrão .....	65
Figura 38: Histograma e teste de normalidade para a absorção de água da amostra 10% .....	66
Figura 39: Histograma e teste de normalidade para a absorção de água da amostra 20% .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Metodologia empregada na análise da fração menor que 2mm.....	43
Tabela 02: Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais .....	45
Tabela 03: Valores de Ø em função da quantidade de blocos .....	48
Tabela 04: Caracterização da fração do resíduo do Shredder menor que 2mm e massa cerâmica .....	52
Tabela 05: Características geométricas do protótipo contendo 20% de resíduo.....	54
Tabela 06: Características geométricas para do protótipo contendo 10% de resíduo .....	55
Tabela 07: Características geométricas para amostra de blocos cerâmicos padrão .....	56
Tabela 08: Determinação da resistência à compressão do protótipo contendo 20% de resíduo.....	57
Tabela 09: Determinação da resistência à compressão o protótipo contendo 10% de resíduo.....	57
Tabela 10: Determinação da resistência à compressão amostra de blocos cerâmicos padrão.....	58
Tabela 11: ANOVA para resistência a compressão .....	61
Tabela 12: Determinação do índice de absorção de água, massa seca e área bruta líquida do protótipo contendo 20% de resíduo .....	61
Tabela 13: Determinação do índice de absorção de água inicial para o protótipo contendo 20% de resíduo .....	62
Tabela 14: Determinação do índice de absorção de água, massa seca e área bruta líquida para o protótipo contendo 10% de resíduo.....	63
Tabela 15: Determinação do índice de absorção de água inicial para o protótipo contendo 10% de resíduo .....	63
Tabela 16: Determinação do índice de absorção, massa seca e área bruta líquida para amostra de blocos cerâmicos padrão .....	64
Tabela 17: Determinação do índice de absorção de água inicial para amostra de blocos cerâmicos padrão .....	64
Tabela 18: ANOVA para Absorção de Água.....	67
Tabela 17: Análise de massa bruta para amostra padrão .....	68
Tabela 18: Análise de lixiviação para amostra padrão .....	68
Tabela 19: Análise de solubilização para amostra padrão .....	69

Tabela 20: Análise de massa bruta para amostra de bloco cerâmico estrutural contendo 20% de resíduo .....	70
Tabela 21: Análise de lixiviação para amostra de bloco cerâmico estrutural contendo 20% de resíduo .....	71
Tabela 22: Análise de solubilização para amostra de bloco cerâmico estrutural contendo 20% de resíduo .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABM - Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASR - *Auto Shredder Residue*

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EN - Norma Europeia

EPA - *Environmental Protection Agency*

EUA - Estados Unidos da América

Fluff – Resíduo do Shredder

IABR - Instituto Aço Brasil

MPa - Megapascal

NEN - Norma Holandesa

RDF - *Residue Derived Fuel*

TCLP – *Toxicity Characteristic Leaching Procedure*

VMP - Valor Máximo Permitido

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 OBJETIVOS.....	9
1.1.1. Objetivo Geral.....	9
1.1.2. Objetivos Específicos.....	9
1.2 LIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	10
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1. DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	11
2.1.1. Legislação Aplicável e Classificação de Resíduos Sólidos.....	11
2.2. PROCESSO PRODUTIVO NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.....	14
2.3. GERAÇÃO DO RESÍDUO DO SHREDDER.....	17
2.4. FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS ESTRUTURAIS NA CERÂMICA VERMELHA.....	22
2.4.1. Extração da Matéria-prima .....	23
2.4.2. Mistura.....	23
2.4.3. Laminação .....	24
2.4.4. Conformação dos materiais cerâmicos.....	25
2.4.5. Corte .....	26
2.4.6. Secagem.....	26
2.4.7. Queima .....	27
2.4.8. Inspeção, estocagem e expedição .....	29
2.5. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA.....	29
2.6. ESTUDOS REALIZADOS COM RESÍDUO DO SHREDDER.....	30
2.7. ESTUDOS REALIZADOS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO NA INDÚSTRIA CERÂMICA .....	34
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	36
3.1. COLETA E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS DE RESÍDUO.....	36
3.2. PRODUÇÃO DOS PROTÓTIPOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA.....	41
3.3. ANÁLISE DAS MATÉRIAS-PRIMAS .....	43
3.4. ANÁLISE DOS PROTÓTIPOS .....	44
3.4.1. Análise de Inspeções Visuais e Dimensões Efetivas .....	44

3.4.2. Análise de Resistência à Compressão .....	47
3.4.3. Análise de Absorção de Água, Massa Seca, Área Bruta, Área Líquida e Absorção de Água Inicial .....	48
3.4.4. Classificação Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004).....	49
3.4.5. Teste de normalidade e variância (ANOVA) .....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	51
4.1. RESULTADO DA ANÁLISE DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	51
4.2. RESULTADO DA ANÁLISE DOS PROTÓTIPOS.....	53
4.2.1. Resultados das Inspeções Visuais e Dimensões Efetivas.....	53
4.2.2. Resultado de Resistência à Compressão .....	56
4.2.2.1. Resultado Teste de normalidade para resistência à compressão.....	59
4.2.2.2. Análise de Variância (ANOVA) para Resistência à Compressão .....	60
4.2.3. Resultado da Análise de Absorção de Água, Massa Seca, Área Bruta, Área Líquida e Absorção de Água Inicial .....	61
4.2.3.1. Resultado Teste de normalidade para Absorção de Água .....	65
4.2.3.2. Análise de Variância (ANOVA) para Absorção de Água.....	67
4.2.4. Resultado da Classificação Segundo a NBR 10.004.....	67
5. CONCLUSÕES .....	73
REFERÊNCIAS .....	75

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica é uma atividade intensiva no uso de energia, água e materiais, gerando por tonelada de aço, 700 quilos de resíduos sólidos. Caso eles não fossem reaproveitados, a produção de aço, por razões econômicas e ambientais, provavelmente ficaria inviabilizada. O gerenciamento e processamento adequados dos resíduos sólidos possibilitam o seu ingresso na cadeia produtiva como materiais alternativos com valor econômico importante. É justamente esta possibilidade que permite classificar os resíduos sólidos como coprodutos da fabricação do aço (ABM, 2008).

Alguns coprodutos como, por exemplo, a escória de aço carbono e a carepa de ferro, possuem viabilidade técnica e econômica para reciclagem. Entretanto o resíduo gerado no processo de trituração de sucata, o resíduo do Shredder, também conhecido como fluff, ainda não possui alternativa de reciclagem viável.

A reciclagem ou recuperação de resíduos sólidos industriais é a transformação de resíduos em matéria-prima, gerando economias no processo industrial. É o reaproveitamento do resíduo, com ou sem beneficiamento, como matéria-prima do mesmo processo de fabricação que o gerou. Recuperação é o reaproveitamento do resíduo, normalmente após beneficiamento, como matéria-prima de processos diversos do usado na sua fabricação. A reciclagem e/ou recuperação de resíduos deve ser adotada tão somente quando houver viabilidade econômica, conferindo-se assim sustentabilidade à metodologia empregada; viabilidade técnica, considerando-se os recursos tecnológicos disponíveis e que a tecnologia aplicada seja ambientalmente conveniente (ABM, 2008).

Considerando um cenário de crescimento da produção de aço, com consequente aumento de geração de seus subprodutos, elevação dos custos de disposição em aterros, tendência que os requisitos legais tornem-se cada vez mais restritivos, preocupação com a prevenção da poluição e a busca pela melhoria contínua dos processos faz com que aumente a busca por alternativas para reaproveitamento e reciclagem dos resíduos industriais.

Atualmente nas usinas siderúrgicas do Brasil o resíduo do Shredder é enviado para aterro. O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação da fração menor que 2mm do resíduo do Shredder, atualmente é enviado para aterro industrial, na produção de blocos cerâmicos estruturais da indústria cerâmica, tendo em vista buscar alternativa para

reaproveitamento deste resíduo, trazendo assim custos mais competitivos e maiores benefícios ambientais para empresa. Desta forma, salienta-se a vantagem ambiental obtida com estudos voltados para o reaproveitamento e reciclagem de resíduos sólidos.

A reutilização de resíduos industriais como alternativa para substituição de matéria-prima pode favorecer algumas condições de processo e até mesmo melhorar qualidade final do produto, além de reduzir custos de produção e dar um destino ecologicamente correto a esses resíduos. Dentro da grande área cerâmica, a cerâmica vermelha é a área que consegue absorver as maiores quantidades de resíduos provenientes de diversos setores industriais.

Neste trabalho foi utilizado o resíduo do Shredder proveniente de uma indústria siderúrgica incorporado ao processo de fabricação de blocos cerâmicos estruturais de uma fábrica de cerâmica vermelha, onde foram avaliados os resultados de análise dimensional, resistência a compressão, absorção de água e a classificação de acordo com a NBR 10.004.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação da fração menor que 2mm do resíduo do Shredder, que atualmente é enviado para aterro industrial, na produção de blocos cerâmicos estruturais da indústria cerâmica.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Caracterização do resíduo e da massa cerâmica quanto a características físicas e químicas;
- Caracterização do bloco cerâmico estrutural produzido na cerâmica com e sem o resíduo, quanto às seguintes propriedades: dimensões efetivas, resistência à compressão e absorção de água;
- Avaliação do produto cerâmico quanto a questões ambientais pela análise de lixiviação e solubilização segundo a NBR 10.004;

## **1.2 LIMITAÇÃO DO TRABALHO**

O resíduo do Shredder proveniente da indústria siderúrgica possui uma caracterização variável em função dos diversos tipos de sucata que podem ser recebidos como matéria prima para o processo produtivo. Desta forma, a representatividade da amostra coletada para realização deste trabalho é considerado um fator limitante.

## **1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta dissertação é composta de cinco capítulos, sendo este apresentado a título de INTRODUÇÃO.

No capítulo dois, REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, será apresentada a definição de resíduos sólidos e legislações aplicáveis, o processo produtivo da indústria siderúrgica, a geração do resíduo do Shredder, o processo produtivo de uma indústria cerâmica, além de trazer alguns estudos já realizados utilizando o resíduo do Shredder e outros da utilização de resíduos em indústrias cerâmicas.

O PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL, no capítulo três, descreve a coleta e processamento da amostra de resíduo utilizada durante os ensaios realizados, a produção dos protótipos contendo 10% e 20% de resíduo na formulação dos protótipos de blocos cerâmicos e os procedimentos utilizados para as análises das matérias-primas e dos protótipos, sendo estas, inspeções visuais e dimensões efetivas, resistência à compressão, absorção de água, classificação segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), testes de normalidade e de variância (ANOVA).

No capítulo quatro, RESULTADOS E DISCUSSÕES, são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios citados no capítulo três.

As CONCLUSÕES deste trabalho estão descritas no capítulo cinco.

## **2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo será apresentada a definição de resíduos sólidos, o processo de geração do resíduo do Shredder, as etapas de produção de blocos cerâmicos estruturais na indústria cerâmica além de alguns estudos já realizados com o resíduo do Shredder e outros utilizando a incorporação de outros resíduos na fabricação de blocos cerâmicos.

### **2.1. DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, define resíduos sólidos como: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Entende-se por periculosidade de um resíduo a característica que em função de suas propriedades física, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar: Risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças; e/ou, riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada.

#### **2.1.1. Legislação Aplicável e Classificação de Resíduos Sólidos**

No Brasil, a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, tem como um de seus objetivos, descrito em seu artigo:

“4º: A preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida”.

Na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, descreve em seu artigo:

“9 º: Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem,

tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º: Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental”.

A Norma Brasileira NBR 10.004 (ABNT, 2004), no seu processo de classificação dos resíduos, envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Ressalta-se que a identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhes deu origem. Dessa forma, esta norma enquadra os resíduos de acordo com as seguintes Classes: Classe I, Classe II A e Classe II B.

- Resíduos Classe I – Perigosos: São aqueles que apresentam uma ou mais das seguintes características: periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, ou que estejam relacionados no Anexo A ou B da norma NBR 10.004: 2004;

- Resíduos Classe II – Não Perigosos: esta classe está sub-dividida nos seguintes grupos:

- Resíduos Classe II A – Não Inertes: São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos da classe I – Perigosos, ou de resíduos classe II B – Inertes. Os resíduos classe II A – Não Inertes podem apresentar as seguintes características: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;

-Resíduos Classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos, quando amostrados de forma representativa, segundo a NBR 10.007 (ABNT,2004)– Amostragem de Resíduos, e submetidos a um contato estático e dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, descrita na NBR 10.006 (ABNT,2004) – Solubilização de Resíduos, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentração superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor conforme anexo G da NBR 10.004 (ABNT, 2004).

Embora haja a necessidade de classificação dos coprodutos segundo a Norma da ABNT, para efeito de avaliação de eventuais riscos ao meio ambiente ou à saúde, tal classificação não é determinante na definição da rota de reciclagem ou recuperação adotada. Diz respeito fundamentalmente à forma de armazenamento temporário ou definitivo dos resíduos sólidos, perigosos ou não perigosos. Em caso de reciclagem ou recuperação deve-se proceder a uma avaliação do risco referente ao processamento e utilização do resíduo/coproduto, sempre com a concordância da agência ambiental estadual (ABM, 2008). A Figura 1 apresenta o fluxograma para a classificação de resíduos segundo a NBR 10.004.

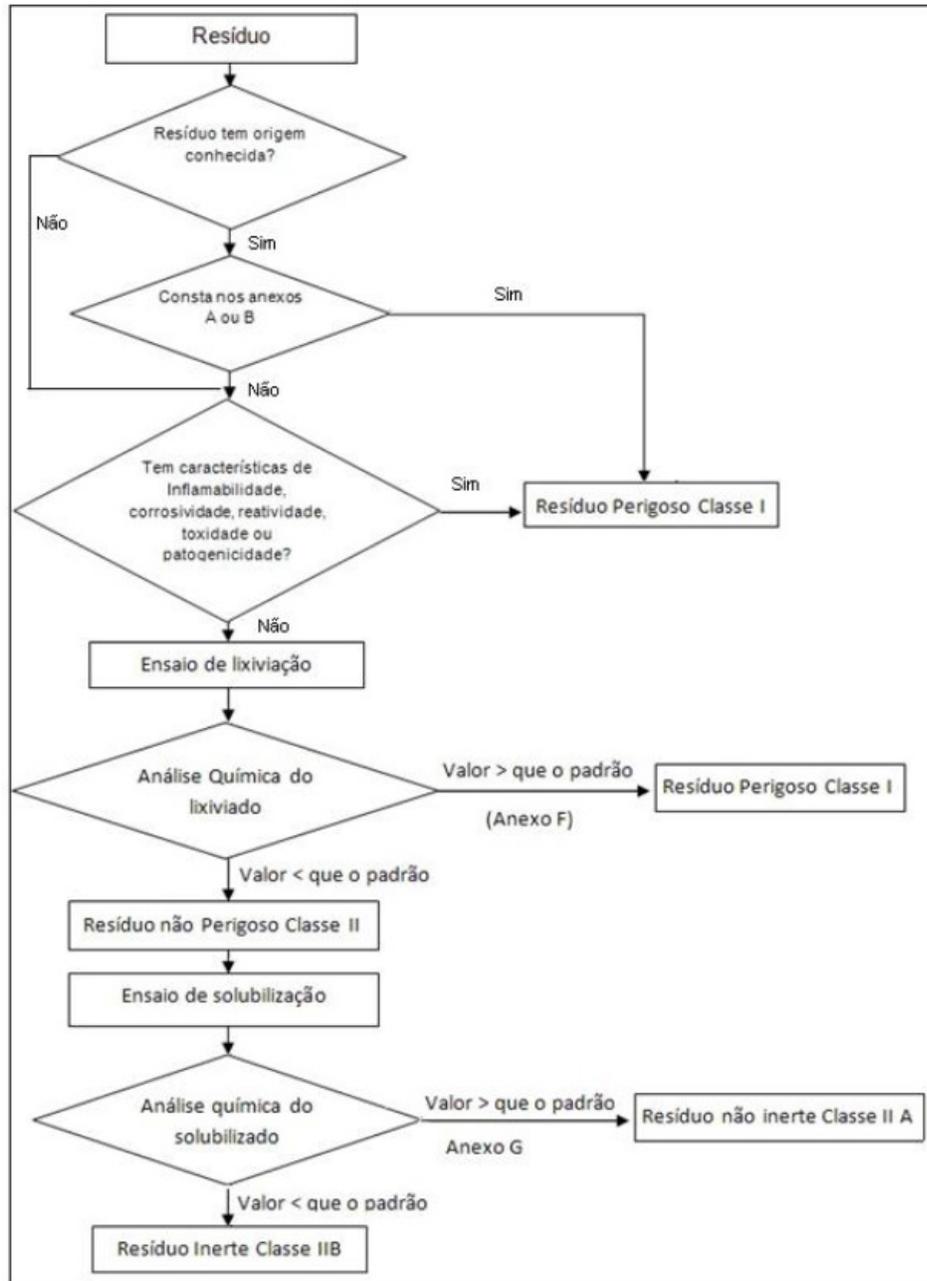


Figura 1: Fluxograma para classificação de resíduos

Fonte: NBR 10004 (ABNT, 2004)

## 2.2. PROCESSO PRODUTIVO NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

Mais importante e versátil das ligas metálicas, o aço é fundamental para o desenvolvimento da sociedade. O aço tem forte presença no dia a dia das pessoas: nos veículos, ônibus e trens; na construção de pontes, viadutos, indústrias e grandes

empreendimentos, em máquinas e equipamentos, em edifícios e casas, na produção e conservação de alimentos, como em fogões, geladeiras, etc (Instituto Aço Brasil, 2014).

As usinas siderúrgicas, classificam-se conforme seu processo produtivo em integradas, semi-integradas também conhecidas como mini-mills e não integradas. As usinas integradas operam três fases do processo siderúrgico: redução, refino e laminação. Produzem o aço a partir do ferro-gusa líquido em alto-forno, a partir do minério de ferro, com uso de coque ou carvão vegetal como redutor. A transformação do gusa em aço é realizada em fornos a oxigênio. As usinas semi-integradas operam em duas fases do processo sendo elas o refino e a laminação, a partir da fusão de metálicos (sucata, gusa e ou ferro-esponja) fundido e refinado em forno elétrico. As usinas não integradas não produzem aço, apenas dispõem de unidade de redução ou processamento (IABR, 2016).

Nas usinas semi-integradas na etapa de refino, as aciarias a oxigênio ou elétricas são utilizadas para transformar o gusa líquido ou sólido e a sucata de ferro e aço em aço líquido, nessa etapa parte do carbono contido no gusa é removido juntamente com impurezas. A maior parte do aço líquido é solidificada em equipamentos de lingotamento contínuo para produzir semi-acabados, lingotes e blocos. Os semi-acabados, lingotes e blocos são processados por equipamentos chamados laminadores e transformados em uma grande variedade de produtos siderúrgicos, cuja nomenclatura depende de sua forma e/ou composição química (IABR, 2016). O fluxograma do processo é apresentado na Figura 2.

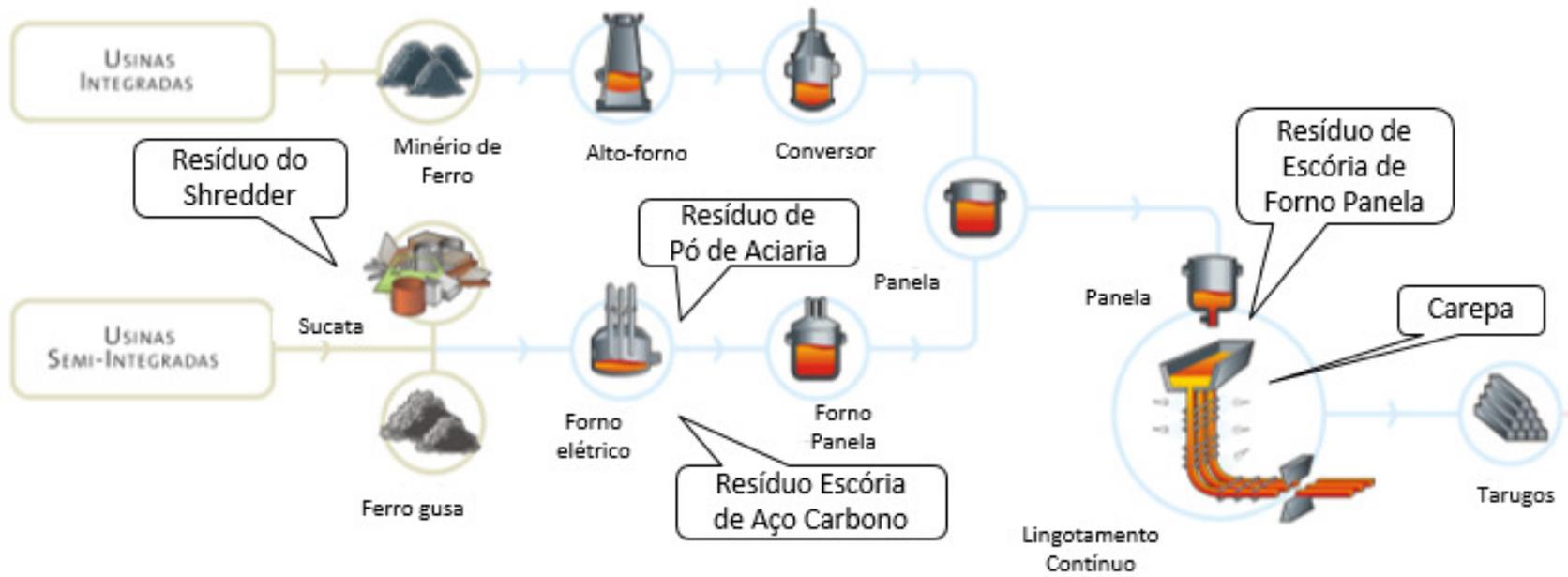


Figura 2: Fluxograma do processo

Fonte: Adaptado de Gerdau, 2014.

### 2.3. GERAÇÃO DO RESÍDUO DO SHREDDER

Alguns equipamentos podem ser agregados para melhorar a eficiência nas aciarias. Nas usinas semi-integradas destacam-se os trituradores de sucatas (FERREIRA, 2012). O triturador de sucata recebe diversos tipos de sucata como, por exemplo, sucata especial, ferro fundido, sucata mista e outras. As siderúrgicas semi-integradas que utilizam aciaria elétrica precisam de 1.130 kg de sucata para produzir 1.000 kg de aço bruto (CIUCCIO, 2004).

Para cada tipo de produto siderúrgico é utilizado um determinado tipo de sucata ferrosa para a carga metálica. As sucatas ferrosas são classificadas em função da composição química, necessidade de industrialização e formato. As sucatas ferrosas chegam de diversas procedências, e para se adequar às características necessárias para utilização nos fornos e ao produto siderúrgico que se deseja obter, é necessário que as mesmas sejam processadas no pátio de sucatas. O processamento da sucata tem por objetivos aumentar a densidade, reduzir o teor de impurezas e adequar os contaminantes (JUNIOR, 2013).

Realizar o processamento das sucatas normalmente se inicia com procedimentos como pesagem, inspeção visual, inspeção de radioatividade e utilização de equipamentos para seleção, trituração e limpeza, como prensas-tesoura, máquina Shredder e operação de oxicorte.

A máquina Shredder é um triturador de sucata, cuja a função é de triturar a sucata e separar a fração metálica ferrosa. Na maioria dos países, a principal fonte de sucata é o automóvel obsoleto, porém o processo também é alimentado por outras fontes como aparelhos de ar condicionado, fogões, geladeiras entre outros. A máquina trituradora realiza a entrega da sucata fragmentada com elevada pureza, minimiza a geração de resíduo nas etapas posteriores do processo além de obter sucatas não ferrosas passíveis de venda como o alumínio (CIUCCIO, 2004).

O sistema do triturador “Shredder” é constituído de um alimentador, triturador, área de transferência, transferência por separador magnético, catação, pesagem, empilhamento, retirada de poeira, sistema de injeção eletrônica de água, separação de nãoferrosos, sistemas hidráulicos e tubulações em geral. O triturador de sucatas “Shredder” é sem dúvida o principal equipamento para o processamento da sucata ferrosa para alta produção, sendo largamente utilizado nos EUA, Canadá e Europa e no Brasil é usado por usinas siderúrgicas e pelos preparadores de sucata. O

Shredder fragmenta e limpa a sucata que será utilizada no processo de produção do aço (JUNIOR, 2013). A Figura 3 representa o fluxograma básico do processo:

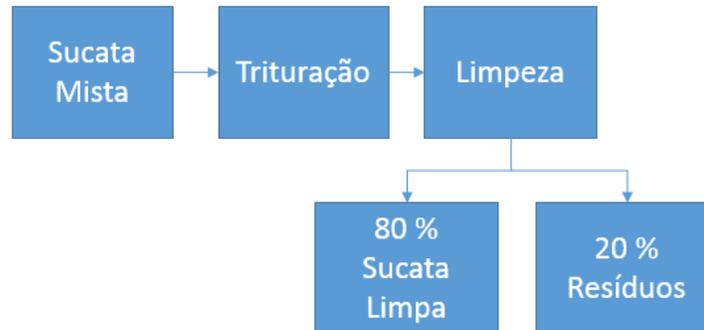


Figura 3: Fluxograma básico do triturador de sucatas

Fonte: O autor

Desta forma, após o processamento da sucata no triturador Shredder, a sucata limpa alimenta os fornos da aciaria e o resíduo do Shredder é atualmente disposto em aterro industrial. Além da sucata ferrosa e do resíduo, o triturador do Shredder também separa a sucata não ferrosa (alumínio, zinco, cobre, latão, etc) e então esta fração pode ser comercializada. A Figura 4 apresenta, de forma esquemática, o processamento da sucata no triturador Shredder.

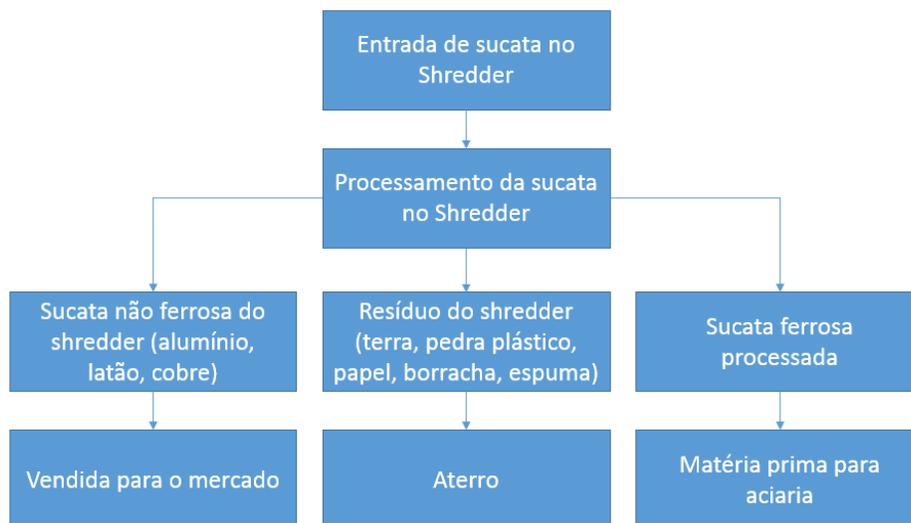


Figura 4: Fluxograma de Funcionamento do Shredder

Fonte: O autor

A Figura 5 apresenta a saída do resíduo do Shredder após o processamento e a Figura 6 ilustra o resíduo.



Figura 5: Saída do resíduo após processamento

Fonte: O autor



Figura 6: Resíduo do Shredder

Fonte: O autor

O resíduo gerado neste processo, o resíduo do Shredder, é heterogêneo, contém plásticos, papel, tecidos, vidro, terra, areia, materiais ferrosos e não ferrosos.

RECKZIEGEL (2012) realizou a distribuição dos materiais presentes no resíduo do Shredder na fração >2mm, sendo que 51% do material não pode ser identificado por apresentar granulometria muito baixa, menor que 8mm, a Figura 7 apresenta a distribuição obtida.

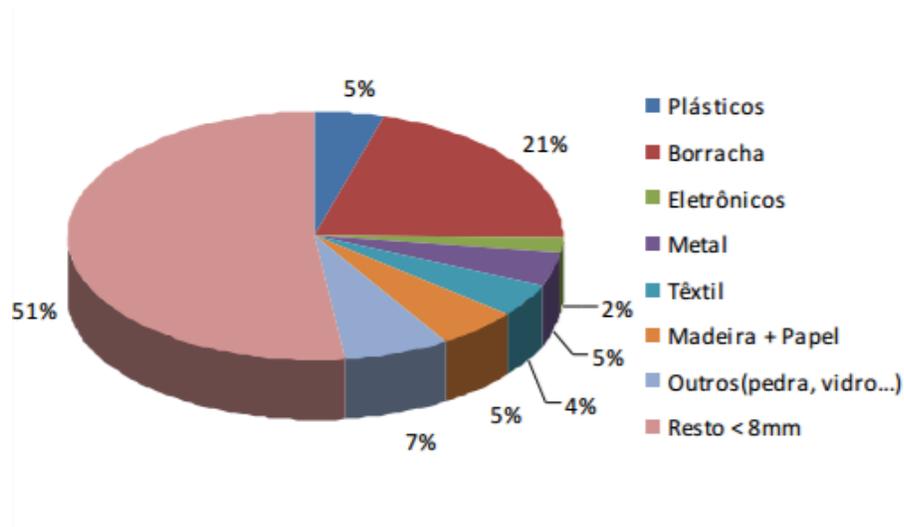


Figura 7: Composição em massa de materiais na fração com granulometria >2mm  
Fonte: Reckziegel (2012)

A Universidade Federal de Caxias do Sul (UCS), realizou a caracterização do resíduo do Shredder em quatro frações, sendo elas: menor que 20mm, entre 20mm e 30mm, entre 30mm e 100mm e maior que 100mm. As Figuras 8, 9, 10 e 11 ilustram a caracterização obtida.

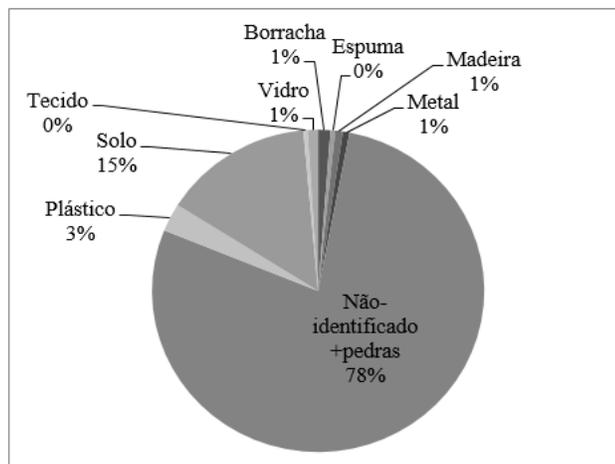


Figura 8: Composição da fração menor que 20mm  
Fonte: UCS(2016)

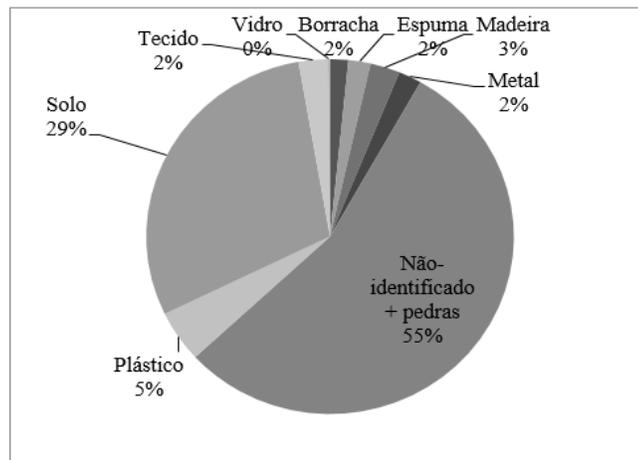


Figura 9: Composição da fração entre 20mm e 30mm  
Fonte: Relatório UCS (2016)

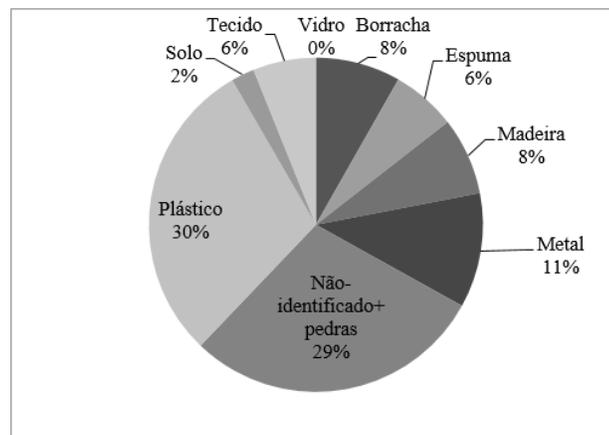


Figura 10: Composição da fração entre 30 e 100mm  
Fonte: UCS(2016)

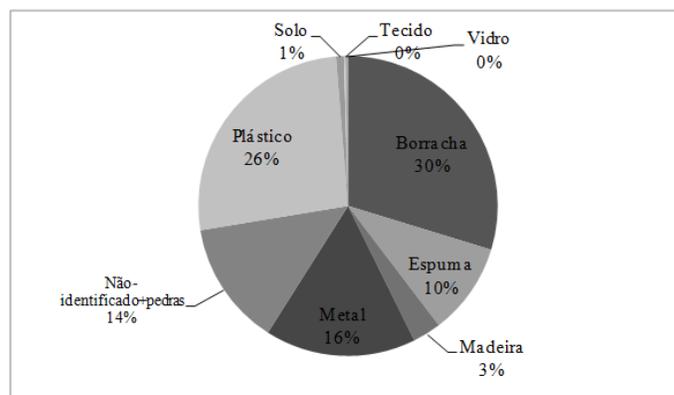


Figura 11: Composição da fração maior que 100mm  
Fonte: UCS(2016)

## 2.4. FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS ESTRUTURAIS NA CERÂMICA VERMELHA

O Brasil dispõe de importantes jazidas de minerais industriais de uso cerâmico, cuja produção está concentrada principalmente nas regiões sudeste e sul, onde estão localizados os maiores polos cerâmicos do país. No entanto, outras regiões têm apresentado certo desenvolvimento dessa indústria, em especial o nordeste, devido, principalmente, à existência de matéria-prima, energia viável e mercado consumidor em desenvolvimento (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

A localização das cerâmicas é determinada por dois fatores principais: a proximidade de jazidas (em função do volume de matéria-prima processada e da necessidade de transporte de grande volume e peso) e a proximidade dos mercados consumidores (tendo em vista os custos de transporte). Quanto maior o grau de qualidade da argila, maior é a importância assumida por esse fator locacional. Uma empresa localizada longe da jazida somente se justifica quando essa é de qualidade excepcional (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

A Figura 12 apresenta a sequência de fabricação da cerâmica vermelha.

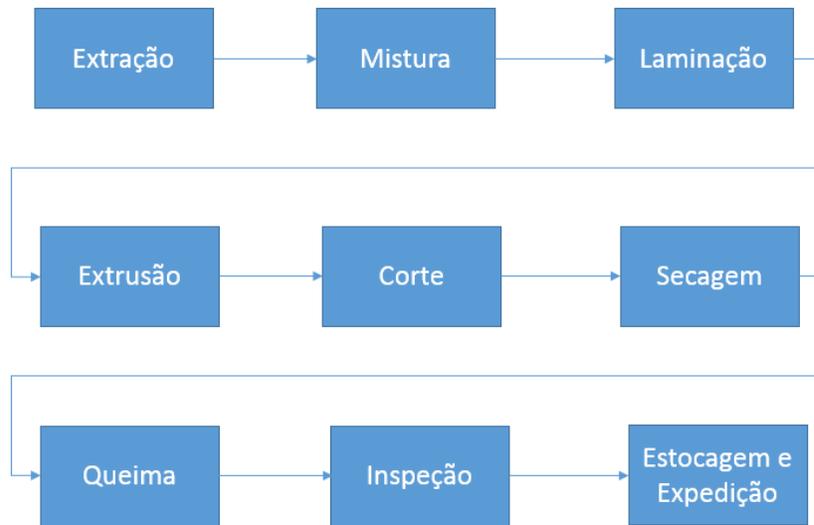


Figura 12: Fluxograma do processo da cerâmica vermelha

Fonte: O Autor

A indústria de cerâmica vermelha é muito importante do ponto de vista ambiental, pois possibilita o reaproveitamento de resíduos sólidos de outras indústrias, incorporando-os na massa cerâmica. Este aproveitamento traz alguns benefícios para a

indústria de cerâmica vermelha como redução do custo e da quantidade de matéria-prima utilizada, redução do consumo de combustível, além de evitar que estes resíduos tenham destinação ambientalmente incorreta. Nas indústrias cerâmicas do Estado de Minas Gerais, por exemplo, é comum utilizar na incorporação da massa os resíduos de pó de balão e lama de alto-forno. A proporção de resíduo varia de 5 a 10%, conforme critérios adotados pelos ceramistas (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

#### **2.4.1.Extração da Matéria-prima**

Grande parte das argilas utilizadas na indústria cerâmica é natural, sendo encontradas em depósitos dispersos pela crosta terrestre. São extraídas geralmente em várzeas de rios e lagos localizados próximos às indústrias. A intensa exploração deste recurso natural tem intensificado a preocupação com a preservação do meio ambiente, visto que houve um aumento significativo na extração e consumo deste recurso natural pelo setor cerâmico (FERNANDES et al, 2003). Após a mineração, as argilas passam por uma pré-transformação, que consiste na redução granulométrica (desagregação ou moagem), mistura e homogeneização. O processo de fabricação propriamente dito tem início após estas operações (VIEIRA, 2009).

Para produção dos materiais cerâmicos ainda são necessárias as etapas de homogeneização, conformação, secagem e queima.

#### **2.4.2.Mistura**

Ao receber a argila, o responsável deve coletar uma pequena amostra para ensaio, sendo recomendada esta operação na primeira e na última carga, para verificar se houve alguma mudança significativa na extração. É muito mais fácil identificar um problema em campo do que após a secagem ou queima (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

No recebimento a argila deve ser armazenada em pequenos lotes cobertos com uma lona plástica para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica e sais solúveis. A matéria-prima deve ser armazenada em camadas para facilitar a mistura no momento de sua retirada das pilhas de estocagem. É importante que a argila passe por um período de descanso para melhorar os resultados na conformação do produto acabado (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

A preparação da massa consiste na mistura dos diversos tipos de argila, água e resíduos, quando aplicáveis. A Figura 13 ilustra esta preparação. A produção de uma boa massa cerâmica é um passo essencial para obtenção de um produto de alta qualidade, redução de perdas e conseqüentemente melhoria do desempenho ambiental do processo. Para tal, recomenda-se que sejam adotadas as seguintes práticas:

- boa homogeneização da argila (argila/argila e argila/água). A adição de água na mistura deve ser centralizada e nunca nas laterais, de modo a facilitar a mistura. A utilização de água quente na mistura acelera o processo de absorção de água pelo centro do grão argiloso, podendo ser reutilizada da bomba de vácuo, ou outros processos viáveis disponíveis na empresa.
- redução dos grãos;
- descanso da massa cerâmica por um período de 24 a 48 horas (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).



Figura 13: Processo de mistura da massa cerâmica

Fonte: O Autor

### 2.4.3. Laminação

O laminador é o equipamento responsável por esta etapa, que consiste no direcionamento de partículas das argilas, sendo fundamental sua regulagem periódica. É recomendado um distanciamento de 2 a 3 mm para o último laminador. Lembrando que quanto mais fechado estiver o laminador melhor será o direcionamento das partículas. A qualidade da laminação determina a qualidade do acabamento dos produtos, evita perdas e pode levar a uma redução no consumo de energia na queima, visto que a granulometria do material diminui (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

#### 2.4.4. Conformação dos materiais cerâmicos

Algumas técnicas podem ser utilizadas para conformação dos materiais cerâmicos, entre elas: extrusão, colagem, moldagem por injeção, prensagem, entre outros. A escolha da técnica depende da geometria e do produto desejado, sendo que a mais utilizada é a extrusão.

A massa, ainda úmida e na fase plástica, é colocada numa extrusora a vácuo, também conhecida como maromba, onde é compactada e forçada, por um pistão (eixo helicoidal), a passar através da boquilha. Obtém-se, então, uma coluna extrudada, com seção transversal no formato e dimensões desejados, que é, em seguida, cortada, obtendo-se, assim, as peças: tijolos furados, blocos, tubos, telhas etc. No caso das telhas, há ainda a etapa da prensagem, tornando a fase de extrusão intermediária no processo (VIEIRA, 2009).

A extrusão consiste em forçar, por pressão, a massa a passar através de um bocal apropriado ao tipo de peça a ser produzida. A extrusora, também conhecida como maromba, recebe a massa preparada para ser compactada e forçada por meio de um pistão ou eixo helicoidal através de bocal. Como resultado obtém-se uma coluna extrusada para confecção de blocos ou em tarugos para fabricação de telhas. Esta etapa é responsável por mais de 15% dos custos de fabricação, devido ao alto consumo de energia e desgaste dos componentes (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013). A Figura 14 apresenta esta etapa.



Figura 14: Etapa de Extrusão

Fonte: O autor

### 2.4.5.Corte

O corte pode ser realizado com cortadores manuais ou automáticos, sendo usado para dar a dimensão desejada ao produto. As peças cortadas podem ser retiradas manualmente ou automaticamente. Depois de cortadas, por inspeção visual, as peças são selecionadas e encaminhadas para o setor de secagem. Já as peças defeituosas são reintroduzidas na etapa de preparação de massa (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013). A etapa de corte está apresentada na Figura 15.



Figura 15: Corte

Fonte: O autor

### 2.4.6.Secagem

O processamento térmico, que compreende as etapas de secagem e queima, é de crucial importância para a obtenção de um produto cerâmico, pois dele depende o correto desenvolvimento de suas propriedades finais. Após a conformação, as peças ainda contêm água. Para evitar o aparecimento de tensões e futuros defeitos, faz-se necessário eliminá-la, de forma lenta e gradual, com a exposição ao calor e a ambientes ventilados, com controle da taxa de aquecimento, ventilação e umidade relativa do ar. Isto pode ser feito em secadores intermitentes ou contínuos, com temperaturas variando entre 50°C e 150°C (VIEIRA, 2009).

A secagem pode ser de forma natural ou artificial, no caso de secagem natural, há necessidade de cuidados adicionais. O processo é mais lento e muito empírico. Pode ocorrer, por exemplo, secagem abrupta, provocando o aparecimento tensões e trincas, que inviabilizam a ida da peça para o forno (queima). A fim de evitar isto, a distribuição das peças no secador deve permitir fluxo de ar uniforme, mas resguardadas de ventilação ou calor excessivos (VIEIRA, 2009). A secagem natural apresenta a vantagem de menor custo com a geração de calor, porém o tempo de secagem é mais elevado, depende do fator climático, a produtividade é baixa, pode afetar a qualidade das peças (trincas, deformações, homogeneidade de secagem), caso o processo não seja bem controlado. A secagem artificial possui menor tempo de secagem, maior produtividade, redução de perdas, melhor qualidade das peças, em contrapartida o custo é mais elevado, requer um maior conhecimento técnico do operador, requer equipamentos e controles, como termômetros e higrômetros (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

O material após a secagem fica sensível a choques, portanto deve-se evitar os solavancos e trepidações, principalmente no transporte manual, e o excesso de carga nos carros. É também recomendável que o material seja encaminhado o mais rápido possível para o forno, pois a argila tem o poder de reabsorver a umidade contida no ar, deixando o material fraco (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

O processo de secagem dos blocos cerâmicos se estende por cerca de 30 a 36 horas, dependendo do tipo de produto a ser produzido, bem como a largura das paredes e também do peso. Um secador semi-contínuo, por exemplo, possui aproximadamente 84 metros de comprimento e 40 de largura, distribuídos em vias. No início do secador a umidade é alta e a temperatura é baixa. Na parte final, pelo aumento de calor para a secagem, a umidade é baixa. O material cerâmico sofre uma retração no processo de secagem e a perda deste volume pode chegar a 5% do tamanho original. Após a secagem, os blocos cerâmicos são transferidos para o forno (Pauluzzi Blocos Cerâmicos, 2016).

#### **2.4.7. Queima**

Nessa operação as peças adquirem suas propriedades finais. Esse tratamento térmico é responsável por uma série de transformações físico-químicas das peças como:

perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem (sinterização) dos grãos. Os produtos são submetidos a temperaturas elevadas, que para a maioria dos produtos situa-se entre 800° C a 1.000° C, em fornos contínuos ou intermitentes que operam em três fases(Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013):

- aquecimento na faixa de temperatura ambiente até a temperatura desejada;
- patamar durante certo tempo na máxima temperatura da curva de queima;
- resfriamento até temperaturas inferiores a 200° C.

A queima pode variar de alguns minutos a alguns dias, as transformações que ocorrem durante este processo seriam: perda de massa (pela perda de água), desenvolvimento de novas fases cristalinas e soldagem dos grãos. A resistência mecânica, a contração linear, a absorção e a porosidade são aspectos adquiridos não só pela boa uniformidade e controle da massa argilosa e perfeita secagem, mas, também, a partir da boa operação do forno (ANICER, 2008).

A escolha do forno depende da eficiência de produção desejada, podendo ser intermitentes ou contínuos.

Fornos Intermitentes: Operam com lenha e são bastante utilizados por pequenas e médias indústrias. Podem ter ciclos de algumas horas, chegando até um mês, abrangendo enforma, queima, resfriamento e desenforma (LOPES, 2005).

Fornos contínuos: Neste tipo de forno é o material que se movimenta. O material cerâmico é colocado sobre vagonetas, que percorrem lentamente a galeria, de uma extremidade a outra, empurradas com uma velocidade contínua. Em intervalos regulares, uma vagoneta é introduzida na fileira enquanto na extremidade oposta outra é retirada. Estes fornos possuem zonas específicas de temperatura, desta forma, as peças são deslocadas e cumprem um ciclo de queima pré-determinado (LOPES, 2005).

O forno do tipo túnel, que é contínuo, é tido como um dos melhores pela maioria dos ceramistas, por garantir baixo consumo energético aliado à uniformidade de queima, o que resulta em produtos com a mesma tonalidade e boa qualidade. Mas já existe, no mercado, uma versão melhorada, dotada de isolamento das porções inferiores do vagão com água, para minorar ainda mais as perdas de calor (VIEIRA, 2009).

Em suma a queima é uma etapa fundamental, na qual o material recebe uma resistência mecânica através da sinterização daspartículas. Pode-se descrever a queima como uma pirâmide, o material ganha certa temperatura, atinge um patamar de queima e depois é resfriado até sair do forno em temperatura ambiente. É importante salientar que

cada argila possui um patamar de queima diferente, o que pode ser analisado através de ensaios laboratoriais visando um melhor aproveitamento (Pauluzzi Blocos Cerâmicos, 2016).

#### **2.4.8. Inspeção, estocagem e expedição**

Após a queima o produto final é inspecionado e são coletadas amostras do lote para envio para análises de qualidade em laboratório especializado.

O material é encaminhado para área de estoque e onde posteriormente será expedido para o cliente.

### **2.5.MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA**

As argilas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha ou, como também conhecidas na literatura técnica, argilas comuns (*common clays*) abrangem uma grande variedade de substâncias minerais de natureza argilosa. Compreendem, basicamente, sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, como argilas aluvionares quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que queimam em cores avermelhadas, a temperaturas variáveis entre 800 e 1.250°C. Na indústria de cerâmica vermelha ou estrutural as argilas são empregadas como matéria-prima na fabricação de blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos maciços, tubos e ladrilhos. Essas argilas possuem geralmente granulometria muito fina, característica que lhes conferem, com a matéria orgânica incorporada, diferentes graus de plasticidade, quando adicionada de determinadas porcentagens de água; além da trabalhabilidade e resistência a verde, a seco e após o processo de queima, aspectos importantes para fabricação de uma grande variedade de produtos cerâmicos (LUZ e LINS, 2005).

A argila para cerâmica vermelha caracteriza-se como um produto de baixo valor unitário, fazendo com que sua mineração opere de maneira cativa (trabalhando apenas para a sua própria cerâmica) ou abasteça mercados locais. Aspecto notável é que o fator geológico de existência das jazidas, de maneira isolada, ou associado a outras condicionantes favoráveis, como proximidade de mercados, base infra-estrutural privilegiada e cultura empresarial, tem conduzido a polarização do setor em territórios específicos, levando à constituição de aglomerados produtivos. As argilas comuns, para

cerâmica vermelha ou estrutural, têm como principal característica a cor de queima avermelhada. Essa propriedade deve-se ao alto conteúdo de óxido de ferro total que encerram, geralmente superior a 4% (LUZ e LINZ, 2005).

A formulação da massa é feita geralmente de forma empírica pelo ceramista, envolvendo a mistura de uma argila “gorda”, caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais, com uma argila “magra”, rica em quartzo e menos plástica, que pode ser caracterizada como um material redutor de plasticidade e que permite a drenagem adequada das peças nos processos de secagem e queima. Busca-se por meio da composição dessa mistura, a composição de uma massa que tenha algumas funções tecnológicas essenciais, tais como (LUZ e LIZ, 2005):

- plasticidade: propiciar a moldagem das peças;
- resistência mecânica à massa verde e crua: conferir coesão e solidez às peças moldadas, permitindo a sua trabalhabilidade na fase pré- queima;
- fusibilidade: favorecer a sinterização e, conseqüentemente, a resistência mecânica e a diminuição da porosidade;
- drenagem: facilitar a retirada de água e a passagem de gases durante a secagem e queima, evitando trincas e dando rapidez ao processo;
- coloração das peças: atribuir cores às cerâmicas por meio da presença de corantes naturais como óxidos de ferro e manganês.

Além das argilas, a massa usada na obtenção de produtos cerâmicos pode conter outros componentes, que, em quantidades adequadas, melhoram as características de manipulação, assim como as propriedades finais (PUREZA, 2004).

## **2.6. ESTUDOS REALIZADOS COM RESÍDUO DO SHREDDER**

A seguir são apresentados alguns estudos já realizados de alternativas para reciclagem ou reaproveitamento do resíduo do Shredder.

MATSUTO et al (2007) realizaram um estudo em que o ASR (Resíduos de automóveis retalhados) foi pré-tratado para melhorar sua qualidade e ser utilizado como combustível. Uma análise na composição revelou que o ASR poderia ser classificado em quatro grupos: (1) de uretano e têxtil – fração leve e combustível com baixos níveis de cinzas e Cl ; ( 2 ) plásticos e borracha - fração leve ou pesada combustível e com altos níveis de Cl; ( 3 ) metais e eletrônicos – fração pesada e não combustível e (4 ) as

partículas menores que 5,6 mm, com alto teor de cinzas. Com base nesses resultados, foram realizados peneiramentos sucessivos para remover partículas menores que 5,6 mm, e através de flotação ou decantação rejeitar a fração pesada e a de plástico e borracha contendo cloro. Também foi realizado um tratamento térmico sob uma atmosfera inerte para remover o cloro derivado do PVC e fazer a combustão para remover os cloretos solúveis.

Esta série de pré-tratamentos permitiu a remoção de 78 % de cinzas e 91 % de Cl do ASR. Uma peneira usando uma abertura de 5,6 mm removeu uma quantidade considerável de cinzas. A qualidade do produto melhorou muito depois de utilizar o método de flotação e decantação. Especificamente o processo de flotação com a utilização de um fluido com  $1,1 \text{ g/cm}^3$  separou quase toda borracha contendo Cl e uma grande quantidade de PVC. O restante do Cl, após o aquecimento a  $300^\circ\text{C}$  sob atmosfera inerte e lavagem, foi detectado presente como cloretos insolúveis que volatilizam em temperaturas acima de  $300^\circ\text{C}$ . Com base em uma relação de compromisso entre a qualidade do produto e custo de tratamento, foi verificado que o ASR pode ser utilizado como uma forma de combustível.

LOPES et al (2009) realizaram um estudo de uma fração de combustível de resíduos de retalhamento automotivos e as cinzas correspondentes geradas por combustão em leito fluidizado em um piloto com o objetivo de compreender a influência em relação ao tratamento das propriedades térmicas para a disposição final deste resíduo, tais como a deposição em aterro. A composição química, o comportamento da lixiviação de cinzas e do resíduo de retalhamento automotivo foram investigados usando três testes: a norma europeia (EN 12457), a dos EUA (EPA TCLP -1311) e a dos holandeses (EA NEN 7371). Verificou-se que tanto o resíduo de retalhamento automotivo como as cinzas continham grande quantidade de metais tóxicos e outros elementos indesejáveis, tais como: Cl e S. Para o resíduo de retalhamento automotivo, além da lixiviação de matéria orgânica acima do limite definido para materiais perigosos, a liberação dos metais pesados, alcalinos e ácidos sob qualquer condição foi significativa, revelando sérios riscos associados às práticas de deposição em aterro. A matéria orgânica encontrada nas cinzas foi insignificante, mas a solubilidade de sulfatos e cloretos foi acima do limite para o caso de cinzas voláteis. Metais tóxicos foram encontrados na lixiviação das cinzas somente sob condições ácidas, exceto o Pb, Cu e Cr que também lixiviaram das cinzas em pH alcalino. Tanto o método holandês como o TCLP de lixiviação revelaram intensidades superiores ao padrão europeu, devido à acidez dos lixiviadores. No entanto,

verificou-se que as cinzas podem ser mais resistentes à acidificação porque exibem maior capacidade de neutralização de ácido do que o resíduo de retalhamento automotivo. O estudo realizado mostra que a valorização térmica do combustível pode evitar riscos associados à deposição do ASR em aterro. No entanto, também deve ser tomado cuidado com as cinzas, pois estas também se comportam como resíduos perigosos, embora haja a redução de massa pelo tratamento térmico.

Como a presença de espécies de cloro e alguns metálicos podem apresentar desafios para as tecnologias de incineração tradicionais CHAPMAN et al (2013) estudaram uma tecnologia avançada de tratamento térmico, chamada Gasplasma, que consiste em um leito fluidizado de gaseificação oxí-vapor seguido de tratamento de plasma para ASR, combustível derivado de resíduos (RDF) e misturas de resíduos ASR e RDF. O trabalho demonstra a capacidade de processar esses materiais altamente heterogêneos, atingindo alta conversão de energia (87-94 %) e conversão completa de carbono, produzindo um gás sintético capaz de ser utilizado para a geração de energia ou matéria-prima. A eficiência alcançada depende da alimentação química e das propriedades. O estudo também mostra que os componentes da cinza do material de alimentação podem ser transformados em um produto vitrificado ambientalmente estável. Com este estudo é possível concluir que configuração Gasplasma é altamente eficaz para eliminar alcatrões e compostos orgânicos voláteis condensáveis a níveis onde o gás é apropriado para utilização em motores a gás ou turbinas a gás para geração de energia.

SILVA (2008) estudou a aplicação do resíduo do Shredder na indústria cimenteira, foi apresentada a viabilidade de coprocessamento do Resíduo de Shredder no forno de uma cimenteira. De acordo com as análises físico-químicas e de poder calorífico realizadas nas amostras do resíduo, a Terra e o Plástico do Shredder podem atuar como substitutos parciais de matéria-prima e energético, respectivamente, sem alterar a qualidade do Cimento Portland, bem como as condições operacionais da planta. Também se observa que o Resíduo de Shredder, gerado na Usina Siderúrgica durante o beneficiamento de Sucata, não causa impactos significativos na composição dos efluentes gasosos do forno, ficando o resultado dentro do Limite Máximo de Emissão estabelecido na Resolução CONAMA 264 (1999). Assim conclui-se que a atividade de coprocessamento do Resíduo de Shredder traz ganhos ambientais à usina Siderúrgica, que evita a disposição do material em aterro.

RECKZIEGEL (2012) realizou a caracterização tecnológica do resíduo do Shredder e avaliou as possibilidades de aproveitamento deste material. Foi realizado o

peneiramento do resíduo, separou-se a fração mais fina (<2mm) da fração mais grossa (>2mm). Foi concluído que a fração mais fina, rica em óxidos de ferro e sílica, possui possibilidades de ser aproveitada nos processos de redução de ferro na siderurgia e em cimenteiras. A fração mais grossa, rica em materiais poliméricos, apresenta potencial para uso energético.

SALDANHA (2014) realizou a segregação e a caracterização do resíduo – “fluff”, de forma a subsidiar futuras pesquisas, com vistas à utilização do mesmo como agregado para argamassa na construção civil. Para tanto, foi realizada caracterização física e química do resíduo, as quais foram comparadas com caracterizações feitas com areia. Constatou-se que o resíduo analisado possui potencial para ser usado como agregado para argamassa e concreto, com ressalvas à possível modificação na demanda por água, aos resultados de impureza para compostos orgânicos em agregados miúdos melhores para o passante na peneira #1,18 mm do que no passante na peneira 2,36mm, e para a possível variabilidade na composição do resíduo, com relação à época e local de coleta.

ROSSETTI et al (2006) estudaram a produção de grânulos para utilização como agregado em misturas de cimento ou asfalto. Os grânulos foram obtidos separando a parte não metálica do resíduo do Shredder. Na separação preliminar a fração de fluff que continha principalmente materiais inertes e não metálicos foi peneirada e analisada. Na etapa seguinte, a fração peneirada foi misturada com materiais ligantes, cinzas volantes e um agente densificador para produzir grânulos de 5 à 30 mm de diâmetro e até 1400 kg/m<sup>3</sup> de massa específica. A granulação foi realizada à temperatura ambiente em um tanque de rotação.

As amostras de concreto preparadas utilizando este agregado, produziram grânulos com massa específica superior a 1800 kg/m<sup>3</sup> e uma resistência à compressão 55% superior a resistência de grânulos preparados utilizando agregado de calcário. Os resultados mostraram que esta técnica pode ser utilizada com sucesso para imobilizar fluff de ASR.

EDO et al (2013) coletaram amostras de fluff de uma planta de trituração na Itália e realizaram a classificação deste material com base no tamanho das partículas, desta forma foram obtidas três frações. Uma comparação entre essas frações e o fluff original foi feita a partir de dois pontos de vista diferentes: propriedades como combustível e poluentes evoluídos em cada fração, quando estas são submetidas à combustão. O objetivo foi estabelecer qual fração seria mais adequada para efeitos de recuperação de

energia. O fluff analisado continha até 50% em peso de finos (partícula <20 mm),no entanto, esta fração possui baixo valor calórico e alta emissão de dioxinas policloradas e furanos (PCDD/F) durante a combustão,assim esta fração é inadequada para a recuperação de energia e, portanto,a disposição em aterro seria a melhor opção. A fração entre 50 e 100 mm exibiu alto poder calorífico e baixa emissão de poluentes, tornando-se assim a fração mais adequada para o uso como combustível (RDF).Os resultados obtidos sugerem que a remoção dos finos do fluff tornaria o material mais adequado para utilização como combustível.

## **2.7. ESTUDOS REALIZADOS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO NA INDÚSTRIA CERÂMICA**

Uma tendência tecnológica importante verificada nos últimos anos é a incorporação de resíduos nas massas de cerâmica vermelha. O sucesso desse processo de agregação de resíduos pode resultar em ganhos, tanto de natureza ambiental, promovendo-se o uso de materiais com problemas de destinação, como também econômicos, para os fornecedores de resíduos e a indústria cerâmica consumidora (LUZ e LINS, 2005).

MOTHÉ (2008), incorporou em uma massa cerâmica argilosa, utilizada para a fabricação de tijolos e telhas, um resíduo proveniente de uma usina siderúrgica integrada denominado de lama de alto-forno em quantidades de até 20% em peso. Os resultados mostraram que a lama de alto-forno é um resíduo combustível que apresenta um poder calorífico elevado, contribuindo assim para a economia de energia durante a etapa de queima da cerâmica. Entretanto, esta incorporação deve ser realizada em pequenas quantidades, máximo de 5% em massa para a mistura de argila utilizada (argila caulínica), para evitar seu efeito deletério na qualidade da cerâmica queimada devido à porosidade gerada pela combustão dos finos de coque e da decomposição da calcita, e ainda pela presença de compostos de ferro na microestrutura da cerâmica.

SILVA (2010),investigou a incorporação de um resíduo da indústria petroquímica de rerrefino de óleos minerais, uma argila contaminada com hidrocarbonetos, como matéria-prima para a indústria cerâmica tradicional. Foram realizadas formulações 0%, 3%, 5%, 10% e 15% em massa de resíduo para obtenção dos corpos de prova. Os resultados obtidos mostraram que a incorporação de resíduo na massa cerâmica

apresentou melhor desempenho nas suas propriedades tecnológicas, enquadrando-se a normas para produtos cerâmicos tradicionais.

RÊGO (2010), estudou o efeito da adição da escória de aciaria em massas cerâmicas para indústrias de cerâmica vermelha, visando contribuir com o aproveitamento desses rejeitos. Foram incorporados teores de 0%, 5%, 20%, 15%, 20% e 25% de escória de aciaria nos corpos de prova. Os resultados mostraram possibilidade de se utilizar até 15% de escória de aciaria na massa cerâmica para telhas.

LOPES (2005), estudou a viabilidade de adição de resíduo da indústria fumageira (pó de fumo) à massa cerâmica utilizada para fabricação de produtos cerâmicos. O objetivo era de incorporar este resíduo na mistura em substituição parcial da matéria prima, desta forma economizando o consumo de argila. Foram adicionados à massa cerâmica teores de 5, 10, 15 e 20% de resíduo ao volume de argila. Também foi estudada a adição, nas mesmas percentagens acima, de cinza de pós de fumo à massa cerâmica. A análise dos resultados indicou a viabilidade do uso das adições de resíduo para a fabricação de tijolos maciços, blocos e telhas. As análises químicas das amostras de resíduo e cinza, juntamente com os ensaios de lixiviação realizadas com um corpo de prova contendo 15% de adição de resíduo e outro contendo 10%, indicaram valores dentro dos limites indicados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004).

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A Figura 16 representa esquematicamente as etapas do procedimento experimental realizado neste estudo.

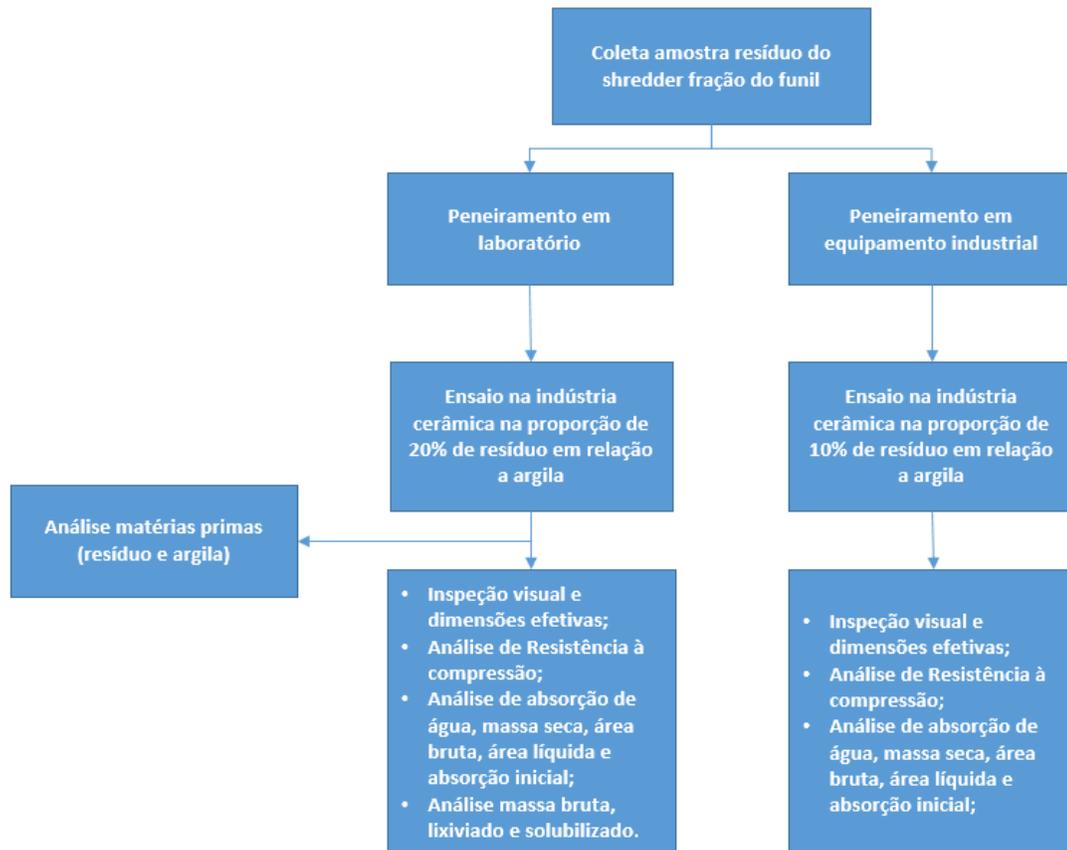


Figura 16: Fluxograma do procedimento experimental

#### 3.1. COLETA E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS DE RESÍDUO

A Figura 17 apresenta o fluxograma do processo onde o resíduo do Shredder é gerado. O foco deste trabalho é o material do Funil (porém em uma fração menor que 2mm), pois é a fração mais fina do resíduo, ou seja, mais fácil de ser incorporada ao processo industrial das cerâmicas.

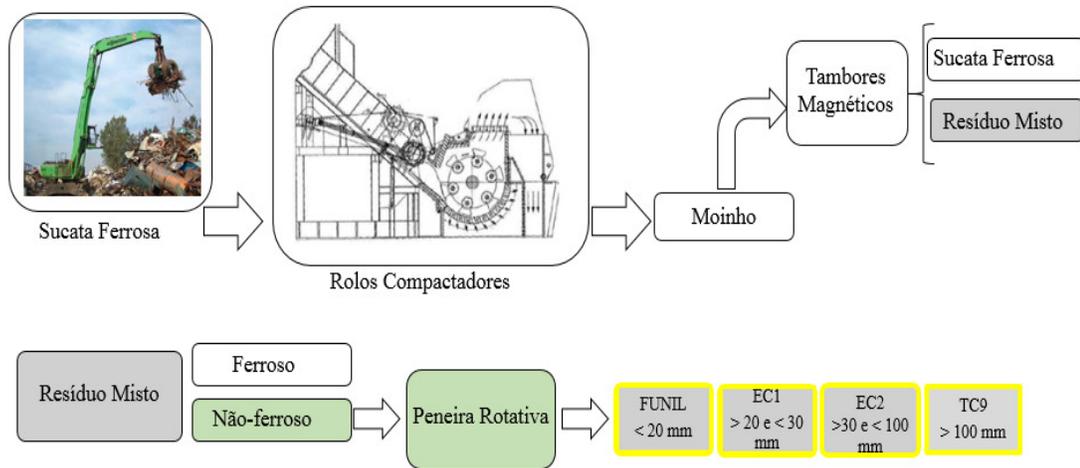


Figura 17: Fluxograma do processo de geração do resíduo

Fonte: UCS (2016)

As amostras do resíduo utilizadas durante o desenvolvimento deste trabalho foram coletadas no Funil durante cinco noites de operação. As amostras foram acondicionadas em sacos (bags). A amostragem, bem como o quarteamento, foram realizados conforme a NBR 10007 (ABNT, 2004). A Figura 18 apresenta o quarteamento realizado.



Figura 18: Quarteamento amostra do resíduo

Fonte: UCS (2016)

Foram encaminhados 3 bags de 400kg cada para o laboratório LAPROM (Laboratório de Processamento Mineral) da UFRGS para preparação da fração menor que 2 mm. A peneira utilizada foi da marca Produtest, 5A, 60 ciclos, 1/2 HP (Figura 19).



Figura 19: Peneira utilizada na preparação do material

Fonte: O Autor

Nesta peneira (Figura 19) o material foi dividido em frações de granulometria menor que 2mm, entre 20mm e 10mm e entre 10mm e 2mm, representado na Figura 20.

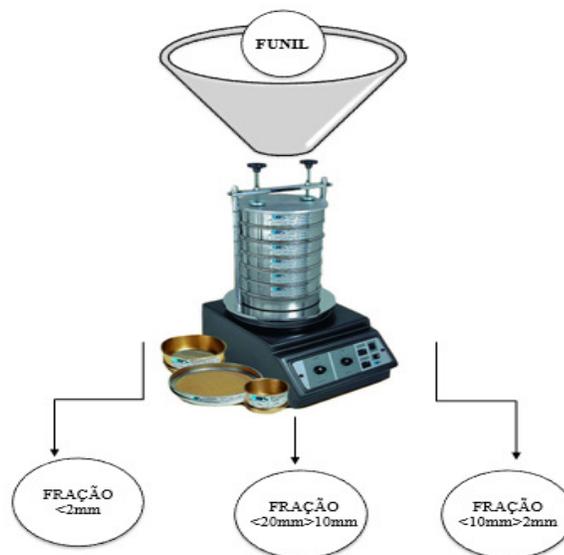


Figura 20: Peneiramento da fração do funil

Fonte: O autor

As Figuras 21, 22 e 23 mostram a aparência do resíduo nas 3 frações obtidas.



Figura 21: Fração <2mm

Fonte: O Autor



Figura 22: Fração <10mm>2mm

Fonte: O Autor



Figura 23: Fração <20mm>10mm

Fonte: O Autor

Foi obtido 1 tonelada de amostra menor que 2mm. Este material foi encaminhado à indústria cerâmica a fim da realização de um teste industrial. Incorporou-se 1 tonelada da amostra na massa cerâmica, com uma dosagem de 20% em relação à massa cerâmica.

Foi conduzido um segundo teste industrial com uma quantidade maior de resíduo e com o objetivo de se ter uma outra dosagem de resíduo na massa cerâmica. Para este segundo teste a amostra foi de 20 toneladas de material do funil, seguindo-se o mesmo procedimento da coleta anterior, a Figura 24 apresenta a coleta da amostra em uma das noites.



Figura24: Coleta da amostra em uma das noites

Fonte: O Autor

Devido a quantidade, se teria dificuldade de processar o material na peneira laboratorial utilizada no teste anterior, desta forma a massa foi encaminhada para processamento em uma peneira industrial da Marca Manufios, quadro (4000 X 1570 MM), tipo TP-3,18 cantoneira 1.1/2'' X 1/8''. Após o processamento foi obtida uma amostra de 16 toneladas com granulometria menor que 2mm, da mesma forma, este material foi encaminhado à fábrica cerâmica para a realização de um segundo teste, onde incorporou-se 16 toneladas da amostra na massa cerâmica, com uma dosagem de 10% em relação à massa cerâmica. A Figura 25 apresenta o peneiramento na peneira industrial.



Figura 25: Ilustração de peneiramento em peneira industrial

Fonte: O Autor

A massa cerâmica utilizada para realização dos testes foi a mesma utilizada normalmente na indústria cerâmica deste estudo. A jazida é localizada no município de Sapucaia do Sul, próximo à unidade cerâmica.

### **3.2.PRODUÇÃO DOS PROTÓTIPOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA**

A primeira amostra de resíduo, de 1 tonelada, foi homogeneizada com a massa cerâmica em uma proporção de 20% para realização do primeiro teste e produção dos primeiros protótipos, a Figura 26 apresenta a homogeneização da massa cerâmica com o resíduo. Um segundo teste foi conduzido com a segunda amostra de resíduo, de 16 toneladas, adicionando-se uma proporção de 10% do resíduo em relação à massa cerâmica.



Figura 26: Resíduo sendo homogeneizado com a massa cerâmica

Fonte: O autor

O processo industrial da produção cerâmica está descrito no item 2.4 deste trabalho. É válido salientar que durante os testes na indústria cerâmica os blocos ficaram no secador por 36 horas e que no forno a queima chegou a 900°C.

Durante o teste industrial é importante salientar a necessidade da preparação da amostra de resíduo. Para a preparação de tijolos em cerâmica precisa-se que o material seja isento de impurezas com granulometria maior que 2mm, caso haja alguma contaminação, esta pode prejudicar o processo de produção principalmente na etapa de corte, onde partículas maiores podem fazer com que o processo seja interrompido devido ao entupimento da extrusora. Na Figura 27 pode-se observar alguns exemplos de impurezas que podem ser encontradas no resíduo. A presença deste tipo de partícula deve ser evitada para não inviabilizar a aplicação deste resíduo na indústria cerâmica.



Figura 27: Exemplos contaminates que podem ser encontrado na fração de resíduo

Fonte: O autor

A Figura 28 apresenta o protótipo com 20% de resíduo.

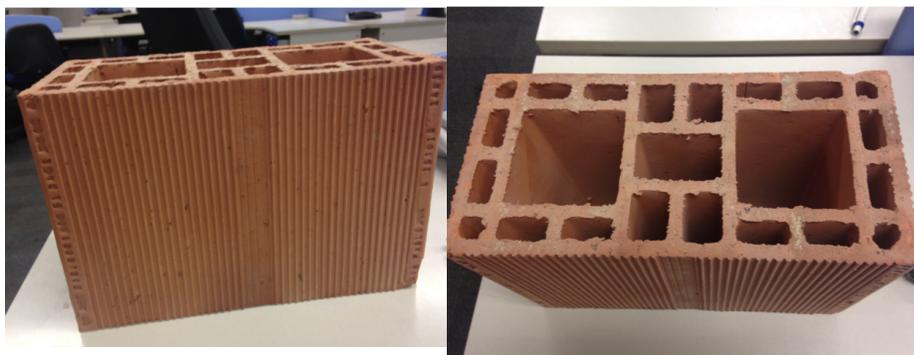


Figura 28: Bloco cerâmico estrutural com 20% de resíduo do Shredder

Fonte: O autor

### 3.3.ANÁLISE DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Com o intuito puramente de caracterizar a fração de resíduo do Shredder menor que 2mm foram conduzidas análises de teor de voláteis, poder calorífico superior, radioatividade, fluoreto, cianeto e metais. As análises foram conduzidas pelo laboratório da empresa Renova. Os métodos utilizados nestas análises estão descritos na Tabela 01.

Tabela 01: Metodologia empregada na análise da fração menor que 2mm

<b>Parâmetro</b>	<b>Metodologia de Análise</b>
Teor de voláteis 105°C	NBR 10.664/1989
Cinzas e voláteis 550°C	NBR 10664/1989
Poder Calorífico Superior	Din 51900-1
pH	Charles Black - Methods of Soil Analysis; American Society of Agronomy: Madison, WI, 1973
Cloreto	EPA 5050 - Bomb Preparation Method for Solid Waste
Metais	Standadrd Methods 21st Edition Método 3120B (inductively Coupled Plasma - ICP)
Digestão Ácida	EPA 3051A/3052/3050B

### **3.4. ANÁLISE DOS PROTÓTIPOS**

Após a produção dos protótipos na cerâmica, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC, na Universidade Federal de Santa Maria para a realização do teste comparativo entre o bloco cerâmico estrutural padrão e os protótipos propostos. Nesse laboratório foram realizadas as inspeções visuais e medidas efetivas, os ensaios para determinação da resistência à compressão, absorção de água, massa seca, área bruta, área líquida e índice de absorção inicial. A metodologia do ensaio foi realizada conforme a NBR 15270 (ABNT, 2005).

Também foram encaminhadas amostras para o laboratório Bioagri - Mérieux NutriSciences Company em Canoas para realização da análise de classificação segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).

#### **3.4.1. Análise de Inspeções Visuais e Dimensões Efetivas**

As inspeções visuais e os ensaios quanto às dimensões efetivas, espessuras mínimas de paredes e septos e desvios máximos foram realizados em uma amostragem de treze corpos de prova.

Para a análise dimensional, a NBR 15270:2005 (Parte 2) especifica no item 4.5.2, Tabela 1, quais as possíveis dimensões de fabricação, estas medidas estão apresentadas na Tabela 02.

Tabela 02: Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais

Dimensões L x H x C	Dimensões de fabricação cm					
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)			
			Bloco principal	½ Bloco	Amarração (L)	Amarração (T)
(5/4)M x (5/4)M x (5/2)M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (5/2)M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M			29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M			39	19	31,5	51,5
(3/2)M x (2)M x (3)M	14	19	29	14	-	44
(3/2)M x (2)M x (4)M			39	19	34	54
(2)M x (2)M x (3)M	19	19	29	14	34	49
(2)M x (2)M x (4)M			39	19	-	59

Bloco L – bloco para amarração em paredes em L.  
Bloco T – bloco para amarração em paredes em T.

Fonte: NBR 15270 Parte 2.

No item 5 da NBR 15270 Parte 2, apresentam-se nas tabelas 2 e 3 as tolerâncias dimensionais que as dimensões efetivas médias possuem, determinadas por medição individual. Esta tolerância é de mais ou menos 5mm para as determinações individuais, e de mais ou menos 3mm para a média das determinações. Para blocos de paredes vazadas, a espessura mínima das paredes externas deve ser de 8mm e dos septos de 7mm (item 5.2, NBR 15270:2005 – Parte 2), conforme representação na Figura 29.

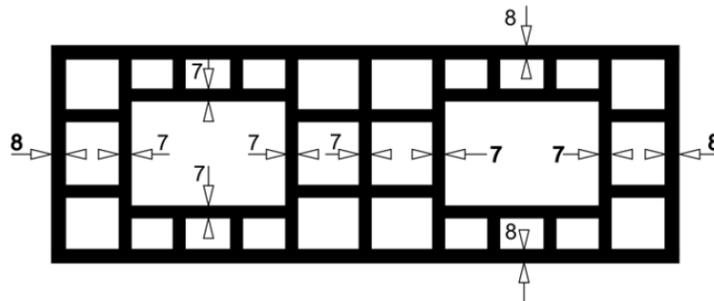


Figura 29: Planta do bloco estrutural de paredes vazadas (unidades em mm)

Fonte: NBR 15270:2005- Parte 2

Conforme o item 5.3 e 5.4 da mesma Norma, o desvio em relação ao esquadro e a flecha máxima (planeza das faces) permitida é de 3mm. A Figura 30 representa esquematicamente o desvio em relação ao esquadro e a Figura 31 representa o desvio em relação a flecha máxima.

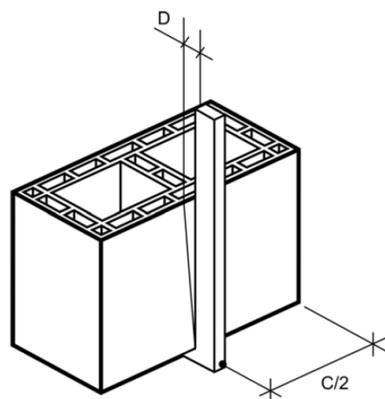


Figura 30: Representação esquemática do desvio em relação ao esquadro (D)

\*C/2 é a metade do comprimento

Fonte: NBR 15270 parte 1

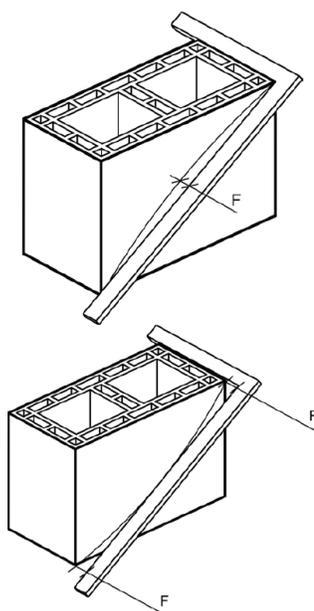


Figura 31: Representação esquemática do desvio em relação a flecha (F) para blocos estruturais – Planeza das faces

Fonte: NBR 15270 parte 1

As determinações da espessura mínima da parede vazada e dos vazados maiores dos blocos são apenas informativas, não existem limitações normativas dessas dimensões.

### 3.4.2. Análise de Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em uma amostragem de blocos cerâmicos estruturais contendo treze corpos de prova.

A Equação 01 apresenta a equação utilizada para determinação da estimativa da resistência à compressão da amostra dos blocos.

Equação 01

$$f_{bk,est} = 2 \left[ \frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bi}$$

Segundo a NBR 15270 parte 2,  $f_{bk,est}$  é a resistência característica estimada da amostra em MPa e  $f_{b(1)}$ ,  $f_{b(2)}$  e  $f_{bi}$  são os valores de resistência à compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, ordenados crescentemente. Sendo que:

$i = n/2$ , se  $n$  for par;

$i = (n - 1)/2$ , se  $n$  for ímpar;

$n$  é a quantidade de blocos da amostra

Conforme a NBR 15250 parte 2, após o cálculo do  $f_{bk,est}$  deve-se proceder à seguinte análise:

a) se o valor do  $f_{bk,est} \geq f_{bm}$  (média da resistência à compressão de todos os corpos-de-prova da amostra), adota-se  $f_{bm}$  como a resistência característica do lote ( $f_{bk}$ );

b) se o valor do  $f_{bk,est} < \emptyset \times f_{b(1)}$  (menor valor da resistência à compressão de todos os corpos-de-prova da amostra), adota-se a resistência característica à compressão ( $f_{bk}$ ) determinada pela expressão  $\emptyset \times f_{b(1)}$ , estando os valores de  $\emptyset$  indicados na Tabela 07.

c) caso o valor calculado de  $f_{bk,est}$  esteja entre os limites mencionados ( $\emptyset \times f_{b(1)}$  e  $f_{bm}$ ), adota-se este valor como a resistência característica à compressão ( $f_{bk}$ ).

Tabela 03: Valores de  $\emptyset$  em função da quantidade de blocos

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	$\geq 18$
$\emptyset$	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04
NOTA	Recomenda-se adotar $n \geq 13$ .											

Fonte: NBR 15270, Parte 2

### 3.4.3. Análise de Absorção de Água, Massa Seca, Área Bruta, Área Líquida e Absorção de Água Inicial

Os ensaios para determinação do índice de absorção de água, massa seca, área bruta, área líquida e índice de absorção de água inicial foram realizados em uma amostragem de blocos cerâmicos estruturais contendo seis corpos de prova.

Para medição da massa seca, segundo a NBR 15270 parte 3, procede-se da seguinte forma: retira-se do corpo-de-prova pó e outras partículas soltas, submete-se os mesmos à secagem em estufa a  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ , após retirada da estufa determina-se a massa individual, em intervalos de 1 h, até que duas pesagens consecutivas de cada um deles difiram em no máximo 0,25%, pesando-os imediatamente após a remoção da estufa, desta forma mede-se a massa seca ( $m_s$ ) dos corpos-de-prova após a estabilização das pesagens, nas condições estabelecidas, expressando-as em gramas.

A área bruta é determinada é pelo comprimento multiplicado pela largura do bloco ( $L \times C$ ).

A área líquida é determinada, após a determinação da área bruta, imergindo os blocos em água fervente por 2h ou em água à temperatura ambiente por 24h, após saturados, os blocos são pesados e imersos em água à temperatura de  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ , o valor obtido é a massa aparente ( $m_a$ ). Depois desta etapa os blocos são retirados da água e enxugados superficialmente com um pano úmido e pesados imediatamente, o valor obtido é a massa saturada ( $m_u$ ), assim a área líquida pode ser calculada através da Equação 02.

A Equação 03 apresenta a equação utilizada para determinação do índice de absorção de água (AA%) e a Equação 04 apresenta a equação para determinação do índice de absorção de água inicial (AAI).

Equação 02:

$$A_{líq} = \frac{(m_u - m_a)}{y.H}$$

Onde  $y$  é a massa específica da água, tomada como sendo igual a 1,0 e  $H$  é a altura média do bloco.

Equação 03:

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \cdot 100$$

Onde  $m_u$  é a massa úmida e  $m_s$  a massa seca da amostra.

Equação 04:

$$AAI = 193,55 \frac{\Delta m}{A_{líq}}$$

Sendo  $\Delta m$  a variação da massa do bloco após sucção de 1,0 minuto e  $A_{líq}$  a área de assentamento, ou revestimento, do bloco, em contato com a lâmina de água durante o ensaio.

#### **3.4.4. Classificação Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004)**

A amostra padrão e o protótipo contendo 20% do resíduo foram enviados para análise de classificação de resíduo conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2004), onde foram conduzidas análises de massa bruta, lixiviação e solubilização.

#### **3.4.5. Teste de normalidade e variância (ANOVA)**

A distribuição Normal é uma das mais importantes distribuições de probabilidades da estatística. Quando a distribuição dos dados é Normal, a média se

encontra no centro da distribuição. Uma grande quantidade de métodos estatísticos supõe que seus dados provêm de uma distribuição Normal, permitindo que seja utilizada a maioria das técnicas de inferência estatística, por exemplo: a estimação e os testes de hipóteses. Existem disponíveis alguns testes para avaliar se a distribuição de um conjunto de dados adere à distribuição Normal, entre eles o teste de Anderson Darling (LOPES et al., 2013). Se o valor-p do teste de Anderson-Darling for menor do que o nível de significância escolhido (normalmente 0,05 ou 0,10), conclui-se que os dados não seguem a distribuição especificada.

A análise de variância (ANOVA) é um método para testar a igualdade de duas ou mais médias populacionais, baseado na análise de variâncias amostrais. As análises ANOVA testam a importância de um ou mais fatores comparando as médias das variáveis de resposta em diferentes níveis dos fatores. A hipótese nula ( $H_0$ ) afirma que todas as médias das populações (médias dos níveis dos fatores) são iguais, enquanto a hipótese alternativa ( $H_A$ ) afirma que pelo menos uma é diferente. O nível de significância ( $\alpha$ ) é o nível de risco máximo aceitável para rejeitar uma hipótese nula verdadeira. Um nível de significância de 0,05 indica que o risco de se concluir que existe uma diferença, quando, na verdade, não existe nenhuma diferença real, é de 5%. (MINITAB, 2016). Um teste de hipótese estatístico pode ser usado para comparar cada par de médias, umas das técnicas usuais é o teste t de Student. Os valores de p, são usados em testes de hipóteses, em que se rejeita ou não uma hipótese nula, compara-se o valor p ao  $\alpha$  para decidir se deve-se rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ ).

- se o valor de p for menor ou igual a  $\alpha$ , rejeita-se  $H_0$ .
- se o valor p for maior que  $\alpha$ , não rejeita-se  $H_0$ .

O valor 0,05 é frequentemente usado para  $\alpha$ , ou seja, se o valor p for menor ou igual a 0,05,  $H_0$  é rejeitada.

Foram realizados testes de normalidade de Anderson Darling e de variância (ANOVA) com teste t de Student para os resultados de resistência à compressão e absorção de água utilizando-se o Software Minitab. Para todas as análises foi escolhido o nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

Através destes testes é possível identificar se as amostras analisadas apresentam distribuição normal e também se há alguma diferença significativa entre as amostras, desta forma facilitando a escolha da formulação a ser utilizada pela indústria cerâmica.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises e suas respectivas discussões.

### **4.1. RESULTADO DA ANÁLISE DAS MATÉRIAS-PRIMAS**

A Tabela 04 apresenta os resultados das análises conduzidas. É importante conhecer o material que será incorporado junto à massa cerâmica, pois caso haja algum material ou resíduo com características semelhantes em outras indústrias, por exemplo, pode-se aproveitar os resultados presentes neste trabalho como base para um novo estudo.

Tabela 04: Caracterização da fração do resíduo do Shredder menor que 2mm e massa cerâmica

Parâmetros	Unidade	Resultados Analíticos Amostra de Resíduo	Resultados Analíticos Amostra Massa Cerâmica
Teor de Voláteis a 105°C	%	6,66	15,28
Cinzas (Sólidos Fixos)	%	91,52	81,90
Teor de Voláteis a 550°C	%	8,48	18,31
Poder Calorífico Superior (PCS)	kcal/kg	2416	1095
pH		8,56	5,31
Radioatividade	μSh/s	0	0
Cloreto	%	0,1084	0,1493
Fluoreto	%	ND	ND
Cianeto	%	ND	ND
Cádmio	mg/kg	ND	ND
Mercúrio	mg/kg	ND	ND
Tálio	mg/kg	58	ND
Arsênio	mg/kg	2066	159
Cobalto	mg/kg	ND	ND
Níquel	mg/kg	445	ND
Selênio	mg/kg	2615	ND
Telúrio	mg/kg	27	ND
Antimônio	mg/kg	4	ND
Cromo	mg/kg	481	ND
Estanho	mg/kg	217	ND
Chumbo	mg/kg	1979	3978
Vanádio	mg/kg	15	ND
Bário	mg/kg	1905	ND
Cobre	mg/kg	2653	ND
Manganês	mg/kg	3532	ND
Zinco	mg/kg	3054	ND
Berílio	mg/kg	2312	ND
Alumínio	mg/kg	6327	ND
Ferro	mg/kg	27221	ND
Cálcio	mg/kg	15633	ND
Potássio	mg/kg	1428	ND
Fósforo	mg/kg	3028	ND

ND: Não detectado

Analisando os resultados encontrados, na massa cerâmica a maior parte dos metais analisados não foram detectados, apenas arsênio e chumbo, fica constatado que a massa cerâmica argila contém uma concentração de chumbo maior que a da amostra do resíduo do Shredder na fração menor que 2mm, 3.978mg/kg do metal na massa

cerâmica e 1.979mg/kg no resíduo. Para o arsênio encontrou-se um teor maior na amostra de resíduo analisada quando comparada à massa cerâmica, 2066mg/kg no resíduo e 159mg/kg na massa cerâmica.

O poder calorífico da amostra de resíduo é superior ao da massa cerâmica, o que é positivo, visto que este fator pode auxiliar a etapa de queima durante o processo produtivo. O teor de voláteis possui valor superior na massa cerâmica quando comparado com a amostra de resíduo, este fato demonstra que há maior quantidade de matéria orgânica na massa cerâmica do que na amostra de resíduo do shredder na fração menor que 2mm, o que poderia ser esperado, visto que, o resíduo passou por peneiramento e a parte orgânica (como plástico por exemplo) ficou na fração granulométrica superior a 2mm, na fração menor que 2mm tem-se preferencialmente a terra e pouco material orgânico.

Salienta-se que a intenção desta análise foi obter um conhecimento das características da fração do resíduo do Shredder menor que 2mm e da massa cerâmica assim como realizar uma comparação entre os resultados obtidos, não há limites para de referência para a análise realizada.

## **4.2. RESULTADO DA ANÁLISE DOS PROTÓTIPOS**

Nesta seção será apresentado os resultados das inspeções visuais, dimensões efetivas, análise de resistência a compressão, absorção de água, massa seca, área bruta, área líquida, absorção de água inicial, testes de normalidade e variância para resistência à compressão e absorção de água e classificação segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004).

### **4.2.1. Resultados das Inspeções Visuais e Dimensões Efetivas**

Na amostragem de blocos para o protótipo contendo 20% do resíduo todos possuíam aspecto homogêneo, sem quebras ou trincas e possuíam arestas vivas, apresentando-se assim conforme a estes requisitos observando os parâmetros de aceitação e rejeição da Tabela 7 da NBR 15270:2005 (Parte 2). Os resultados das características geométricas são apresentados na Tabela 05.

Tabela 05: Características geométricas do protótipo contendo 20% de resíduo

Exemplar	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)				Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede Externa	Septos	Parede Vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
3268	140	192	291	8	6	31	74	2	1
3269	140	193	291	7	6	31	73	2	0
3270	140	193	292	6	6	31	73	2	1
3271	139	193	291	6	7	31	74	1	1
3272	139	193	291	7	7	31	75	3	1
3273	140	193	291	7	6	30	74	2	1
3274	140	194	291	7	7	30	74	2	1
3275	140	194	291	6	6	30	74	2	0
3276	140	194	292	7	6	30	75	1	1
3277	140	194	292	6	6	31	73	2	1
3278	140	194	292	7	6	31	72	1	1
3279	140	194	292	7	6	30	74	2	1
3280	139	192	291	6	6	30	74	2	1
<b>Média</b>	<b>139,8</b>	<b>193,3</b>	<b>291,4</b>	<b>6,7</b>	<b>6,2</b>	<b>30,5</b>	<b>73,8</b>	<b>1,8</b>	<b>0,8</b>

Pelos parâmetros de aceitação e rejeição, previstos na Tabela 8 da NBR 15270:2005 – Parte 2 permite-se verificar pelos ensaios realizados na amostra, que a mesma não está em conformidade com a Norma quanto a altura média, a tolerância para este parâmetro em relação a medida de 19 cm definida como aceitável na Tabela 02 seria de mais ou menos 3mm e o resultado da média da altura foi de 19,3cm. Para septos, os valores não estão conformes a Norma, visto que, o valor mínimo de espessura é de 7mm e houve amostras com espessura de 6mm. Para paredes externas os valores encontrados não atendem os requisitos da Norma, a espessura mínima é de 8mm para este parâmetro e obteve-se resultados inferiores. Os desvios máximos para esquadro e flecha assim como as dimensões de largura e comprimento estão conformes a Norma.

Na amostragem de blocos para o protótipo contendo 10% do resíduo todos possuíam aspecto homogêneo, sem quebras ou trincas e possuíam arestas vivas, apresentando-se assim conforme a estes requisitos observando os parâmetros de aceitação e rejeição da Tabela 7 da NBR 15270:2005 (Parte 2). Os resultados das características geométricas estão apresentados na Tabela 06.

Tabela 06: Características geométricas para do protótipo contendo 10% de resíduo

Exemplar	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)				Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede Externa	Septos	Parede Vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
7016	141	192	291	9	7	35	71	2	0
7017	141	192	291	10	7	36	70	2	1
1018	141	193	291	9	7	33	70	2	1
7019	140	192	292	10	7	36	71	0	0
7020	141	192	292	10	7	35	71	0	0
7021	141	190	291	10	8	36	70	1	1
7022	139	192	291	10	7	36	71	1	0
7023	141	191	291	9	8	33	71	1	1
7024	141	191	292	10	7	35	71	0	2
7025	141	193	292	10	7	35	70	0	2
7026	141	192	292	9	8	35	70	2	0
7027	140	190	291	10	8	36	71	1	0
7028	141	193	291	9	8	35	70	1	1
<b>Média</b>	<b>140,7</b>	<b>191,8</b>	<b>291,4</b>	<b>9,6</b>	<b>7,4</b>	<b>35,1</b>	<b>70,5</b>	<b>1,0</b>	<b>0,7</b>

Pelos parâmetros de aceitação e rejeição, previstos na Tabela 8 da NBR 15270:2005 – Parte 2 permite-se verificar pelos ensaios realizados na amostra, que a mesma está em conformidade com a Norma no que se refere a todos os parâmetros analisados na Tabela 02.

Na amostragem de blocos para a amostra de blocos cerâmicos padrão todos possuíam aspecto homogêneo, sem quebras ou trincas e possuíam arestas vivas, apresentando-se assim conforme a estes requisitos observando os parâmetros de aceitação e rejeição da Tabela 7 da NBR 15270:2005 (Parte 2). Os resultados das características geométricas são apresentados na Tabela 07.

Tabela 07: Características geométricas para amostra de blocos cerâmicos padrão

Exemplar	Dimensões efetivas médias dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)				Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Parede Externa	Septos	Parede Vazada	Vazados	Esquadro	Flecha
3287	140	193	291	6	6	30	73	2	1
3288	139	193	291	8	6	32	74	1	0
3289	140	193	290	7	6	31	73	1	0
3290	139	193	291	6	6	30	74	2	1
3291	140	193	291	8	6	31	74	1	0
3292	140	193	291	6	6	31	74	1	1
3293	139	196	291	6	6	30	74	1	1
3294	139	194	291	7	6	31	74	2	1
3295	139	192	291	7	7	31	74	2	1
3296	139	193	291	6	6	31	75	1	0
3297	139	193	291	7	6	31	75	1	1
3298	139	194	291	6	7	31	74	1	0
3299	140	194	291	6	7	30	75	1	0
<b>Média</b>	<b>139,4</b>	<b>193,4</b>	<b>290,9</b>	<b>6,6</b>	<b>6,2</b>	<b>30,8</b>	<b>74,1</b>	<b>1,3</b>	<b>0,5</b>

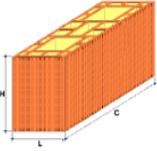
Pelos parâmetros de aceitação e rejeição, previstos na Tabela 8 da NBR 15270:2005 – Parte 2 permite-se verificar pelos ensaios realizados na amostra, que a mesma não está em conformidade com a Norma quanto aos parâmetros de altura média, o valor obtido foi de 19,4cm para uma tolerância de 3mm em relação ao valor de 19cm definido na Tabela 02; septos, obteve-se resultados com valores abaixo de 7mm (valor mínimo) e paredes externas, obteve-se resultados com valores abaixo de 8mm (valor mínimo). Os demais parâmetros analisados, largura, comprimento, desvio máximo para esquadro e flecha, estão em conformidade aos requisitos da Norma.

Contata-se que o único protótipo que está em conformidade com a Norma com todas as características geométricas analisadas é o contendo 10% de resíduo, visto que o protótipo contendo 20% de resíduo e o bloco cerâmico padrão não atendem os requisitos quanto aos parâmetros de altura média, septos e paredes externas. Este fato pode estar relacionado a problemas na extrusora, por exemplo.

#### 4.2.2. Resultado de Resistência à Compressão

Os resultados das determinações de Resistência à Compressão, individual, média e característica ( $f_{bk}$ ), para o protótipo contendo 20% do resíduo são apresentados na Tabela 08.

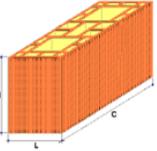
Tabela 08: Determinação da resistência à compressão do protótipo contendo 20% de resíduo

Exemplar	Tipologia do Bloco	Área Bruta Média (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (Mpa)		
				Individual	Média (f <sub>bm</sub> )	f <sub>bk,est</sub> Adotada <sup>1</sup>
3268		40.740	315.000	7,7	9,6	8,0
3269		40.740	410.000	10,1		
3270		40.880	420.000	10,3		
3271		40.449	400.000	9,9		
3272		40.449	420.000	10,4		
3273		40.740	390.000	9,6		
3274		40.740	395.000	9,7		
3275		40.740	330.000	8,1		
3276		40.880	390.000	9,5		
3277		40.880	385.000	9,4		
3278		40.880	420.000	10,3		
3279		40.880	415.000	10,2		
3280		40.449	405.000	10		

Para a amostra de blocos cerâmicos estruturais, deve-se tomar como referência o valor mínimo de 7,0 MPa para a resistência à compressão característica (f<sub>bk</sub>). A amostra ensaiada apresentou f<sub>bk</sub> = 8,0 MPa, atendendo assim às especificações para blocos cerâmicos estruturais.

Os resultados das determinações de resistência à compressão, individual, média e característica, para o protótipo contendo 10% de resíduo, são apresentados na Tabela 09.

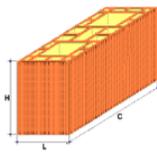
Tabela 09: Determinação da resistência à compressão o protótipo contendo 10% de resíduo

Exemplar	Tipologia do Bloco	Área Bruta Média (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (Mpa)		
				Individual	Média (f <sub>bm</sub> )	f <sub>bk,est</sub> Adotada <sup>1</sup>
7016		41.031	405.000	9,9	10,3	8,9
7017		41.031	380.000	9,3		
7018		41.031	495.000	12,1		
7019		40.880	420.000	10,3		
7020		41.172	465.000	11,3		
7021		41.031	495.000	12,1		
7022		41.031	420.000	10,2		
7023		40.449	435.000	10,8		
7024		41.172	390.000	9,5		
7025		41.172	425.000	10,3		
7026		41.172	395.000	9,6		
7027		40.740	365.000	9		
7028		41.031	375.000	9,1		

A amostra ensaiada apresentou  $f_{bk} = 8,9$  MPa, superior ao requisito de resistência à compressão estipulada pelo fabricante ( $f_{bk, esp} = 7,0$ MPa).

Os resultados das determinações de resistência à compressão, individual, média e característica, para amostra de blocos cerâmicos padrão, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Determinação da resistência à compressão amostra de blocos cerâmicos padrão

Exemplar	Tipologia do Bloco	Área Bruta Média (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (Mpa)		
				Individual	Média ( $f_{bm}$ )	$f_{bk,est}$ Adotada <sup>1</sup>
3287		40.740	385.000	9,5	9,3	8,4
3288		40.449	420.000	10,4		
3289		40.600	375.000	9,2		
3290		40.449	325.000	8		
3291		40.740	360.000	8,8		
3292		40.740	445.000	10,9		
3293		40.449	355.000	8,8		
3294		40.449	370.000	9,1		
3295		40.449	365.000	9,0		
3296		40.449	390.000	9,6		
3297		40.449	395.000	9,8		
3298		40.449	365.000	9		
3299		40.740	370.000	9,1		

A amostra ensaiada apresentou  $f_{bk} = 8,4$  MPa, assim atendendo às especificações para blocos cerâmicos estruturais.

A Figura 32 apresenta o gráfico de comparação entre as resistências à compressão característica ( $f_{bk}$ ) dos blocos padrão com os protótipos contendo 10% e 20% de resíduo.

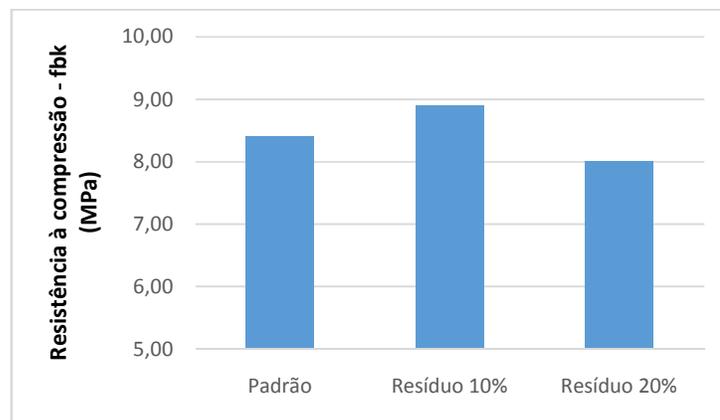


Figura 32: Comparação entre as resistências à compressão

Analisando os resultados percebe-se que todas as amostras atendem o limite mínimo para resistência à compressão característica (7,0 MPa), porém o protótipo contendo 10% de resíduo apresentou resistência à compressão superior.

#### 4.2.2.1. Resultado Teste de normalidade para resistência à compressão

As Figuras 33, 34 e 35 apresentam os gráficos de histogramas e teste de normalidade para a resistência à compressão da amostra padrão e das amostras contendo 10% e 20% de resíduo.

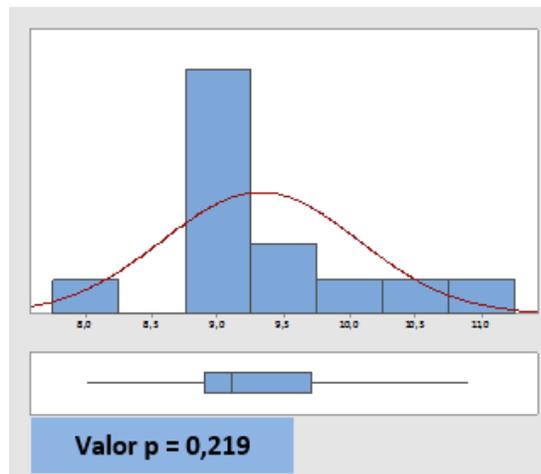


Figura 33: Histograma e teste de normalidade para a resistência à compressão da amostra padrão

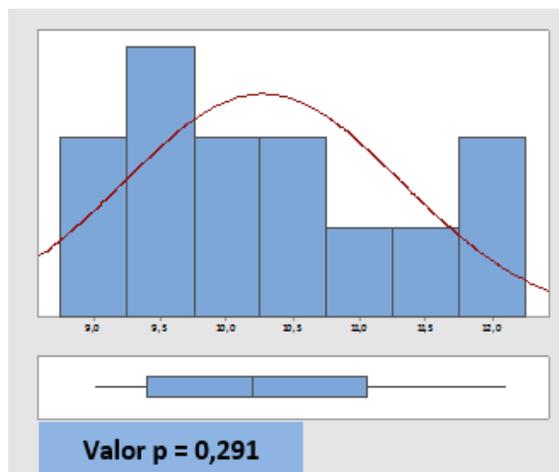


Figura 34: Histograma e teste de normalidade para a resistência à compressão da amostra 10%

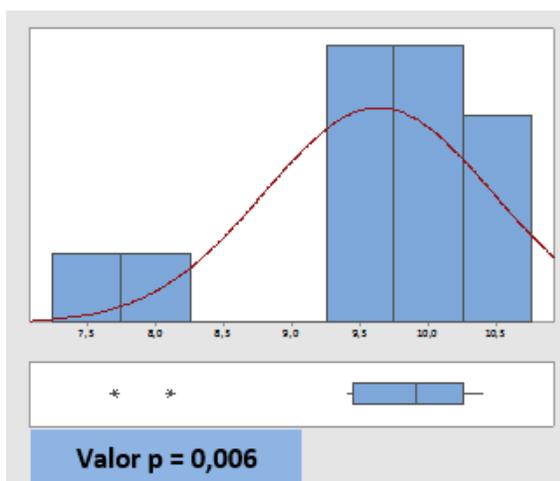


Figura 35: Histograma e teste de normalidade para a resistência à compressão da amostra 20%

Analisando as Figuras 31, 32 e 33 constata-se que as amostras padrão e a amostra contendo 10% de resíduo possuem uma distribuição normal, visto que o valor-p foi superior a 0,05 no teste de normalidade de Anderson Darling. No entanto, as amostras contendo 20% de resíduo não seguem uma distribuição normal. O valor-p obtido no teste de normalidade foi 0,006, ou seja, inferior a 0,05.

Além disso, pode-se perceber que todas amostras apresentam valor de resistência à compressão superior à especificação de 7,0 MPa.

#### 4.2.2.2. Análise de Variância (ANOVA) para Resistência à Compressão

De acordo com a metodologia apresentada no item 3.4.5, os dados foram tratados no Software Minitab. Foi realizado o teste de hipóteses para comparação de médias entre as três amostras (padrão, 10% e 20%), a Tabela 11 apresenta os resultados calculados pelo software.

Tabela 11: ANOVA para resistência a compressão

ANOVA para Resistência à Compressão			
Teste t Student			
Comparação entre Amostras	valor-p	$\alpha$ (nível de significância)	Diferença
Padrão 10%	0,015	0,05	Há diferença significativa
Padrão 20%	0,331	0,05	Não há diferença significativa
10% 20%	0,100	0,05	Não há diferença significativa

Analisando os resultados constata-se que há diferença significativa entre as médias do protótipo padrão e do protótipo contendo 10% de resíduo, visto que, a resistência à compressão para o protótipo com 10% é superior ao padrão, sugere-se optar por esta formulação. Além disto, não há diferença entre as médias do protótipo padrão e do protótipo contendo 20% de resíduo e entre as médias dos protótipos contendo 10% e 20% de resíduo. Escolhendo-se a amostra contendo 20% de resíduo, se utilizaria mais resíduo e menos massa cerâmica, resultando em um menor custo de produção para cerâmica. No entanto, conforme gráfico da Figura 33, as amostras contendo 20% de resíduo não apresentaram distribuição normal, sendo assim, sugere-se que a escolha seja a formulação contendo 10% de resíduo.

#### 4.2.3. Resultado da Análise de Absorção de Água, Massa Seca, Área Bruta, Área Líquida e Absorção de Água Inicial

A Tabela 12 apresenta os resultados das análises de determinação de absorção de água, massa seca e área bruta líquida para o protótipo contendo 20% de resíduo.

Tabela 12: Determinação do índice de absorção de água, massa seca e área bruta líquida protótipo contendo 20% de resíduo

Exemplar	Massas da amostra (g)			Índice de absorção d'água - AA(%)	Área Bruta - $A_b$ (cm <sup>2</sup> )	Área Líquida - $A_{liq}$ (cm <sup>2</sup> )
	Imersa ( $m_i$ )	Saturada ( $m_u$ )	Seca ( $m_s$ )			
3262	3.576	6.699	5.926	13,0	405,88	162,66
3263	3.558	6.658	5.900	12,8	403,10	160,62
3264	3.583	6.715	5.931	13,2	403,10	162,28
3265	3.572	6.693	5.919	13,1	403,10	161,71
3266	3.586	6.713	5.937	13,1	403,10	162,02
3267	3.594	6.732	5.950	13,1	404,49	161,75
Médias determinadas			5.927	13,1	403,80	161,84
Desvio Padrão (s)				0,14	1,16	0,69
Coeficiente de variação (CV %)				1,06	0,29	0,43

Para os blocos cerâmicos, a NBR 15270:2005 especifica que o índice de absorção de água, em qualquer um dos blocos ensaiados, deve ter valor entre 8,0% e 22,0%. A amostra apresentou um índice mínimo de 12,8% e média de 13,1%, estando assim em conformidade com os requisitos normativos.

A área líquida média obtida na amostra foi de 161,84cm<sup>2</sup>, o que para uma área bruta média de 403,80cm<sup>2</sup>, também determinada na amostra, representa uma relação entre ambas de 0,40. A massa seca média determinada, da amostra de blocos, foi de 5.927g, sendo que o valor mínimo observado foi de 5.900g.

A Tabela 13 apresenta a determinação do índice de absorção de água inicial – AAI, para o protótipo de 20% de resíduo.

Tabela 13: Determinação do índice de absorção de água inicial para o protótipo contendo 20% de resíduo

Exemplar	Massas da amostra (g)		Índice de absorção de água inicial - AAI (g/193,55cm <sup>2</sup> /min)	
	Seca	Após 1,0 minuto	Individual	Média
3262	5.926	5.977	61	56
3263	5.900	5.951	61	
3264	5.931	5.973	50	
3265	5.919	5.963	53	
3266	5.937	5.985	57	
3267	5.950	5.995	54	

Conforme a NBR 15270:2005 – Parte 3, em seu Anexo D (Informativo), recomenda (item D.3.1) que quando a absorção de água inicial (AAI) obtida nos ensaios em laboratório exceder a 30g/193,55cm<sup>2</sup>/min os blocos devem ter o índice reduzido abaixo deste valor, por molhagem, antes do uso, de forma a melhorar seu desempenho. Assim, constata-se que há necessidade de molhar os blocos antes do assentamento (AAI = 56g/193,55cm<sup>2</sup>/min).

A Tabela 14 apresenta os resultados das análises de determinação de absorção de água, massa seca e área bruta líquida para o protótipo contendo 10% de resíduo.

Tabela 14: Determinação do índice de absorção de água, massa seca e área bruta líquida para o protótipo contendo 10% de resíduo

Exemplar	Massas da amostra (g)			Índice de absorção d'água - AA(%)	Área Bruta - A <sub>b</sub> (cm <sup>2</sup> )	Área Líquida - A <sub>líq</sub> (cm <sup>2</sup> )
	Imersa (m <sub>a</sub> )	Saturada (m <sub>u</sub> )	Seca (m <sub>s</sub> )			
7010	3.826	7.133	6.291	13,4	410,31	172,24
7011	3.822	7.130	6.304	13,1	407,40	172,29
7012	3.824	7.138	6.295	13,4	407,40	174,42
7013	3.835	7.173	6.307	13,7	410,31	173,85
7014	3.830	7.161	6.336	13,0	410,31	172,59
7015	3.831	7.134	6.305	13,1	407,40	171,14
<b>Médias determinadas</b>			6.306	13,3	408,86	172,76
<b>Desvio Padrão (s)</b>				0,26	1,59	1,19
<b>Coefficiente de variação (CV %)</b>				1,99	0,39	0,69

A amostra apresentou um índice mínimo de 13,0% e, média de 13,3%, na absorção de água, estando em conformidade com os requisitos normativos.

A área líquida média obtida na amostra foi de 172,76cm<sup>2</sup>, o que para uma área bruta média de 408,86cm<sup>2</sup>, também determinada na amostra, representa uma relação entre ambas de 0,42. A massa seca média determinada, da amostra de blocos, foi de 6.306g, sendo que o valor mínimo observado foi de 6.291g.

A Tabela 15 apresenta a determinação do índice de absorção de água inicial – AAI, para o protótipo de 10% de resíduo.

Tabela 15: Determinação do índice de absorção de água inicial para o protótipo contendo 10% de resíduo

Exemplar	Massas da amostra (g)		Índice de absorção de água inicial - AAI (g/193,55cm <sup>2</sup> /min)	
	Seca	Após 1,0 minuto	Individual	Média
	7010	6.291	6.340	55
7011	6.304	6.351	53	
7012	6.295	6.345	55	
7013	6.307	6.345	42	
7014	6.336	6.385	55	
7015	6.305	6.345	45	

Visto que o valor encontrado para o índice de absorção de água inicial excede a 30g/193,55cm<sup>2</sup>/min, constatou-se que há necessidade de molhar os blocos antes do assentamento (AAI = 51g/193,55cm<sup>2</sup>/min).

A Tabela 16 apresenta os resultados das análises de determinação de absorção de água, massa seca e área bruta líquida para amostra de blocos cerâmicos padrão.

Tabela 16: Determinação do índice de absorção, massa seca e área brita líquida para amostra de blocos cerâmicos padrão

Exemplar	Massas da amostra (g)			índice de absorção d'água - AA(%)	Área Bruta - A <sub>b</sub> (cm <sup>2</sup> )	Área Líquida - A <sub>liq</sub> (cm <sup>2</sup> )
	Imersa (m <sub>a</sub> )	Saturada (m <sub>u</sub> )	Seca (m <sub>s</sub> )			
3281	3.540	6.600	5.856	12,7	401,58	159,38
3282	3.549	6.671	5.929	12,7	401,58	161,76
3283	3.573	6.723	5.933	13,3	408,80	163,21
3284	3.575	6.726	5.939	13,3	408,80	161,59
3285	3.560	6.691	5.939	12,7	406,00	163,07
3286	35.559	6.695	5.929	12,9	406,00	162,49
<b>Médias determinadas</b>			5.921	12,9	405,46	161,92
<b>Desvio Padrão (s)</b>				0,29	3,25	1,41
<b>Coefficiente de variação (CV %)</b>				2,28	0,80	0,87

A amostra apresentou um índice mínimo de 12,7% e média de 12,9% na absorção de água, estando conforme parâmetros de aceitação da NBR 15270:2005.

A área líquida média obtida na amostra foi de 161,92cm<sup>2</sup>, o que para uma área bruta média de 405,46cm<sup>2</sup>, também determinada na amostra, representa uma relação entre ambas de 0,40. A massa seca média determinada, da amostra de blocos, foi de 5.919g, sendo que o valor mínimo observado foi de 5.856g.

A Tabela 17 apresenta a determinação do índice de absorção de água inicial – AAI, para amostra de blocos cerâmicos padrão.

Tabela 17: Determinação do índice de absorção de água inicial para amostra de blocos cerâmicos padrão

Exemplar	Massas da amostra (g)		Índice de absorção de água inicial - AAI (g/193,55cm <sup>2</sup> /min)	
	Seca	Após 1,0 minuto	Individual	Média
3281	5.856	5.901	55	54
3282	5.920	5.962	54	
3283	5.933	5.981	57	
3284	5.939	5.986	56	
3285	5.939	5.986	56	
3286	5.929	5.971	50	

Observa-se que o valor encontrado para o índice de absorção de água inicial AAI, é igual a 54g/193,55cm<sup>2</sup>/min, sendo este superior ao limite de 30g/193,55cm<sup>2</sup>/min, desta forma os blocos devem ser molhados antes de seu assentamento.

A Figura 36 apresenta o gráfico de comparação para absorção de água dos blocos padrão com os protótipos contendo 10% e 20% de resíduo.

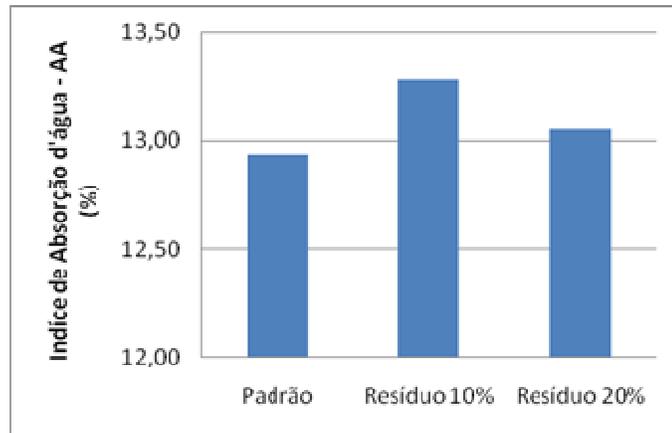


Figura 36: Comparação para absorção de água

Analisando os resultados percebe-se que todas as amostras atendem as especificações para absorção de água (entre 8% e 22%).

#### 4.2.3.1. Resultado Teste de normalidade para Absorção de Água

As Figuras 37, 38 e 39 apresentam os gráficos histogramas para absorção de água da amostra padrão e amostras com 10 e 20% de resíduo na composição.

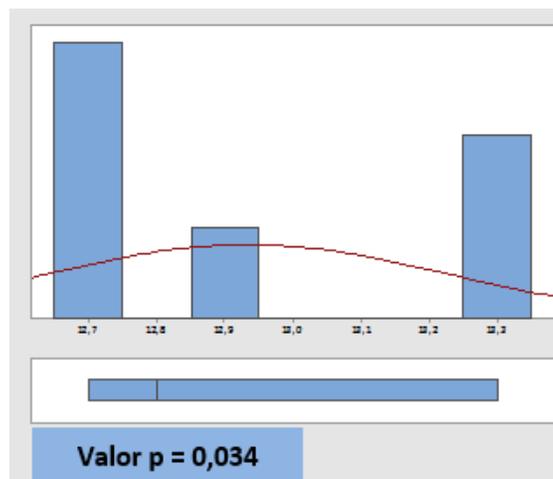


Figura 37: Histograma e teste de normalidade para a absorção de água da amostra padrão

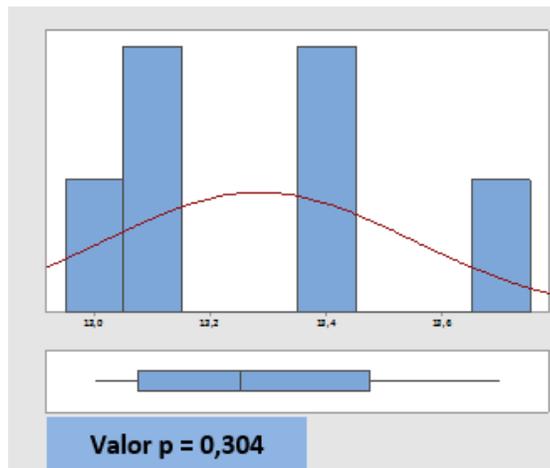


Figura 38: Histograma e teste de normalidade para a absorção de água da amostra 10%

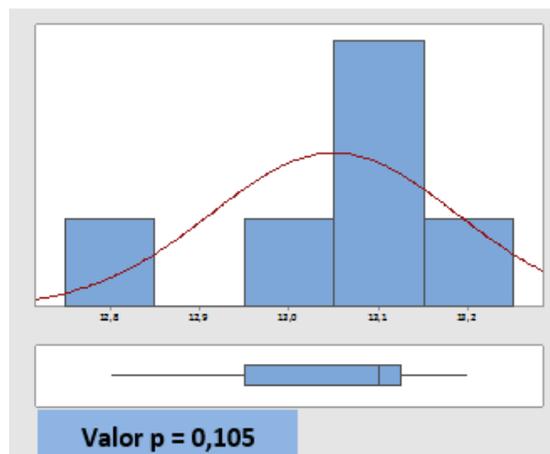


Figura 39: Histograma e teste de normalidade para a absorção de água da amostra 20%

Analisando as Figuras 34, 35 e 36 pode-se perceber que as amostras 10% e 20% são normais, visto que o valor-p foi superior a 0,05 no teste de normalidade de Anderson-Darling. No entanto, a amostra padrão não apresentou distribuição normal.

Além disso, constata-se que todas amostras (padrão, 10% e 20%) apresentam valor de absorção de água dentro do limite da especificação de 8,0 a 22,0%.

#### 4.2.3.2. Análise de Variância (ANOVA) para Absorção de Água

Foi realizado o teste de hipóteses t de Student para comparação de médias entre as três amostras (padrão, 10% e 20%). A Tabela 18 apresenta os resultados calculados pelo software Minitab.

Tabela 18: ANOVA para Absorção de Água

ANOVA para Absorção de Água			
Teste t Student			
Comparação entre Amostras	valor-p	$\alpha$ (nível de significância)	Diferença
Padrão 10%	0,058	0,05	Não há diferença significativa
Padrão 20%	0,408	0,05	Não há diferença significativa
10% 20%	0,096	0,05	Não há diferença significativa

Analisando os resultados apresentados na Tabela 18, constatou-se que não há diferença entre as médias de nenhuma das formulações, desta forma seria possível escolher a amostra contendo 20% de resíduo, visto que com esta formulação se utilizaria mais resíduo e menos argila, resultando assim em um menor custo de produção para indústria cerâmica.

#### 4.2.4. Resultado da Classificação Segundo a NBR 10.004

Um resíduo é classificado como Classe I (Perigoso) quando um ou mais parâmetros do lixiviado estiverem acima dos valores máximos permitidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da massa bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004).

A Tabela 17 apresenta os resultados de massa bruta, a Tabela 18 de lixiviação e a Tabela 19 os resultados de solubilização da amostra de bloco padrão. Sendo que LQ é o Limite de Quantificação da Amostra e VMP é o Valor máximo permitido pela Norma NBR 10004 (ABNT, 2004).

Tabela 17: Análise de massa bruta para amostra padrão

<b>Massa Bruta (NBR 10004)</b>			
<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>LQ</b>	<b>Resultados analíticos</b>
Acetona	mg/kg	1	<1
Alúminio	mg/kg	0,5	883
Arsênio	mg/kg	0,5	3,69
Bário	mg/kg	0,5	81,6
Benzeno	mg/kg	0,01	<0,01
Cádmio	mg/kg	0,049	<0,049
Chumbo	mg/kg	0,5	1,21
Cobre	mg/kg	0,5	1,26
Cromo Hexavalente	mg/kg	0,2	<0,2
Cromo Hexavalente	mg/kg	0,5	4,17
Formaldeído	mg/kg	0,9	<0,9
índice de Fenóis	mg/kg	0,2	<0,2
Mercurio	mg/kg	0,025	<0,025
Naftaleno	mg/kg	0,01	<0,01
Níquel	mg/kg	0,5	3,92
óleos e Graxas	%p/p	0,05	<0,05
Prata	mg/kg	0,5	<0,5
Selênio	mg/kg	0,5	<0,5
Tolueno	mg/kg	0,01	<0,01
Vanádio	mg/kg	0,5	8,81
Xilenos	mg/kg	0,015	<0,015
Zinco	mg/kg	0,5	2,93
Umidade	%p/p	0,05	0,44
Cinzas (Base úmida)	%p/p	0,05	98,9
Cinzas (Base seca)	%p/p	0,05	99,4
Ferro em %	%p/p	0,0001	0,1109
pH (suspensão 1:1)	-	2 a 13	7,61
Sulfeto (como H <sub>2</sub> S)	mg/kg	1	<1
Porcentagem de Sólidos	%p/p	0,05	99,6
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	0,1

Tabela 18: Análise de lixiviação para amostra padrão

<b>Extrato Lixiviado (NBR 10005)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>LQ</b>	<b>Resultados analíticos</b>	<b>VMP NBR 10004:2004</b>
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,158	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,232	1,0
Cromo	mg/L	0,01	<0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	<0,1	150,0
Mercurio	mg/L	0,000075	<0,00008	0,1
Prata	mg/L	0,01	<0,01	5,0
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	1,0
Tempo de Lixiviação	horas	-	18	16-20
Solução de Extração	-	-	1	-
pH Final do Lixiviado	-	-	5,4	-

Tabela19: Análise de solubilização para amostra padrão

Extrato Solubilizado (NBR 10006)				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Fluoreto	mg/L	0,1	5,63	1,5
Alumínio	mg/L	0,01	0,115	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Bário	mg/L	0,01	0,0201	0,7
Cádmio	mg/L	0,001	0,00166	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	<0,05	0,07
Cloreto	mg/L	0,5	<0,5	250
Cobre	mg/L	0,005	<0,005	2
Cromo	mg/L	0,1	<0,01	0,05
Ferro	mg/L	0,1	0,0228	0,3
Índice de Fenóis	mg/L	0,1	<0,01	0,01
Manganês	mg/L	0,1	<0,01	0,1
Mercurio	mg/L	0,000075	<0,00008	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,1	<0,1	10
Prata	mg/L	0,01	<0,01	0,05
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	7,2	200
Sulfato	mg/L	5	21,3	250
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,1	0,11	0,5
Zinco	mg/L	0,01	<0,01	5
pH Final do Solubilizado	-	-	6,5	-

Para os resultados de massa bruta e lixiviado, comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004, pode-se afirmar que os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Referente a análise do solubilizado, constata-se que o parâmetro fluoreto ultrapassa o limite permitido. Em função dos resultados obtidos, amostra é classificada como Classe II A – Resíduo Não Inerte.

A Tabela 20 apresenta os resultados de massa bruta, a Tabela 21 de lixiviação e a Tabela 22 os de solubilização para o protótipo contendo 20% de resíduo.

Tabela 20: Análise de massa bruta para amostra de bloco cerâmico estrutural contendo 20% de resíduo

<b>Massa Bruta (NBR 10004)</b>			
<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>LQ</b>	<b>Resultados analíticos</b>
Acetona	mg/kg	1	<1
Alúminio	mg/kg	0,5	1030
Arsênio	mg/kg	0,5	4,75
Bário	mg/kg	0,5	146
Benzeno	mg/kg	0,01	<0,01
Cádmio	mg/kg	0,049	<0,05
Chumbo	mg/kg	0,5	12,2
Cobre	mg/kg	0,5	83,6
Cromo Hexavalente	mg/kg	0,2	<0,3
Cromo Hexavalente	mg/kg	0,5	23,3
Formaldeído	mg/kg	0,9	<0,9
índice de Fenóis	mg/kg	0,2	<0,2
Mercurio	mg/kg	0,025	<0,025
Naftaleno	mg/kg	0,01	<0,01
Níquel	mg/kg	0,5	16,7
óleos e Graxas	%p/p	0,05	<0,05
Prata	mg/kg	0,5	<0,5
Selênio	mg/kg	0,5	<0,5
Tolueno	mg/kg	0,01	<0,01
Vanádio	mg/kg	0,5	8,11
Xilenos	mg/kg	0,015	<0,015
Zinco	mg/kg	0,5	117
Umidade	%p/p	0,05	<0,05
Cinzas (Base úmida)	%p/p	0,05	99,2
Cinzas (Base seca)	%p/p	0,05	99,2
Ferro em %	%p/p	0,0001	0,5761
pH (suspensão 1:1)	-	2 a 13	7,81
Sulfeto (como H <sub>2</sub> S)	mg/kg	1	<1
Porcentagem de Sólidos	%p/p	0,05	100
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	0,2

Tabela 21: Análise de lixiviação para amostra de bloco cerâmico estrutural contendo 20% de resíduo

<b>Extrato Lixiviado (NBR 10005)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>LQ</b>	<b>Resultados analíticos</b>	<b>VMP NBR 10004:2004</b>
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,517	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,0351	1,0
Cromo	mg/L	0,01	<0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	<0,1	150,0
Mercúrio	mg/L	0,000075	<0,00008	0,1
Prata	mg/L	0,01	<0,01	5,0
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	1,0
Tempo de Lixiviação	horas	-	18	16-20
Solução de Extração	-	-	1	-
pH Final do Lixiviado	-	-	6,4	-

Tabela 22: Análise de solubilização para amostra de bloco cerâmico estrutural contendo 20% de resíduo

<b>Extrato Solubilizado (NBR 10006)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>LQ</b>	<b>Resultados analíticos</b>	<b>VMP NBR 10004:2004</b>
Fluoreto	mg/L	0,1	3,12	1,5
Alumínio	mg/L	0,01	0,117	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	0,0801	0,01
Bário	mg/L	0,01	0,0181	0,7
Cádmio	mg/L	0,001	<0,001	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	<0,05	0,07
Cloreto	mg/L	0,5	0,55	250
Cobre	mg/L	0,005	<0,005	2
Cromo	mg/L	0,1	0,0192	0,05
Ferro	mg/L	0,1	0,0602	0,3
índice de Fenóis	mg/L	0,1	<0,01	0,01
Manganês	mg/L	0,1	<0,01	0,1
Mercúrio	mg/L	0,000075	<0,00008	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,1	<0,1	10
Prata	mg/L	0,01	<0,01	0,05
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	8,24	200
Sulfato	mg/L	5	61,4	250
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,1	0,18	0,5
Zinco	mg/L	0,01	<0,01	5
pH Final do Solubilizado	-	-	7,6	-

Para os resultados de massa bruta e lixiviado, comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004, os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Pela análise do solubilizado, constatou-se que os parâmetros arsênio e fluoreto ultrapassam os limites permitidos, mas mesmo assim a

amostra é classificada como Classe II A – Resíduo Não Inerte, mantendo a mesma classificação do bloco cerâmico padrão. Entende-se que, se o resultado deste ensaio atende para incorporação de 20% de resíduo, irá atender também para a incorporação de 10%.

Na análise de solubilizado constata-se que para o bloco cerâmico contendo 20% de resíduo o resultado para o parâmetro fluoreto foi 3,12mg/L enquanto que para o bloco cerâmico padrão o resultado foi 5,63mg/L, desta forma percebe-se que o bloco cerâmico contendo resíduo esta encapsulando o fluoreto.

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nos testes realizados, constata-se que a fração menor que 2mm do resíduo do Shredder pode ser utilizada junto à massa cerâmica como matéria-prima para fabricação de blocos cerâmicos estruturais.

Para os ensaios de análise visual o bloco cerâmico estrutural padrão e os protótipos contendo 10% e 20% de resíduo possuíam aspecto homogêneo, sem quebras ou trincas e continham arestas vivas.

Para análise dimensional o bloco cerâmico estrutural padrão e o protótipo contendo 20% de resíduo não atendem nos requisitos da NBR 15.270 quanto aos parâmetros de altura média, septos e espessura de parede externa. O protótipo contendo 10% de resíduo atende aos requisitos da Norma quanto a todos parâmetros dimensionais analisados, altura, largura, comprimento, espessura de septo e parede externa e desvio máximo em relação ao esquadro e a fecho.

Nos ensaios realizados tanto o bloco cerâmico estrutural quanto aos protótipos contendo 10% e 20% de resíduo atendem o limite mínimo de resistência à compressão característica (7,0 MPa), o protótipo contendo 10% de resíduo apresentou resistência à compressão superior aos demais protótipos analisados.

Percebe-se que para todos os ensaios realizados para absorção de água, as amostras dos blocos cerâmicos estruturais padrão e dos protótipos contendo 10% e 20% de resíduo atendem as especificações normativas (entre 8% e 22%).

Analisando os resultados constata-se que há diferença significativa entre as médias do protótipo padrão e do protótipo contendo 10% de resíduo, visto que, a resistência à compressão para o protótipo com 10% é superior ao padrão, sugere-se optar por esta formulação. Além disto, não há diferença entre as médias do protótipo padrão e do protótipo contendo 20% de resíduo e entre as médias dos protótipos contendo 10% e 20% de resíduo. Escolhendo-se a amostra contendo 20% de resíduo, se utilizaria mais resíduo e menos argila, resultando em um menor custo de produção para cerâmica. No entanto, conforme gráfico da Figura 33, as amostras contendo 20% de resíduo não apresentaram distribuição normal, sendo assim, sugere-se que a escolha seja a formulação contendo 10% de resíduo.

Pelos os resultados do teste de normalidade e de variância para absorção de água constata-se que não há diferença entre as médias de nenhuma das formulações, sendo possível escolher a amostra contendo 20% de resíduo.

Quanto às análises de massa bruta, lixiviado e solubilizado, conclui-se que tanto o bloco cerâmico estrutural padrão quanto o protótipo contendo 20% de resíduo são classificados como Classe II A – não inerte, ou seja, ambos não são classificados como Classe I – perigoso.

Fica claro que se a fração menor que 2mm do resíduo do Shredder for utilizada como matéria-prima para indústria cerâmica o material deixará de ser enviado para aterro e haverá a possibilidade de consumir menos argila das jazidas (recurso natural). Além disto, a indústria siderúrgica e a cerâmica teriam possibilidade de redução de seus custos, a primeira pois estaria deixando de pagar para aterrar o material, e a segunda pois evitaria os custos operacionais de retirada de argila das jazidas, desta forma, seria uma oportunidade de tornar ambas as empresas mais competitivas e sustentáveis.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se estender este estudo para frações de resíduo do Shredder diferentes de 2mm, realizar testes com outros percentuais de resíduo em relação à massa cerâmica, analisar as emissões atmosféricas com e sem a incorporação do resíduo à massa cerâmica e realizar uma análise econômica detalhada da utilização do resíduo do Shredder na indústria cerâmica.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS - ABM. Nota Técnica: Gestão de Coprodutos, Panorama do setor siderúrgico. Brasil, Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.abmbrasil.com.br/epss/arquivos/documentos>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato de lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 21, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.664: Águas – Determinação de resíduos sólidos – Método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.270 - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.270 - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.270 - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005. 33p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER. Relatório Setorial 04-ICNBR - Programa Setorial da Qualidade Blocos Cerâmicos. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/arquivos/psq/Blocos-ceramicos-%20Relatorio-setorial-03-ICNBR-Dez-2007.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

BLACK, C. **Methods of Soil Analysis**. American Society of Agronomy: Madison, WI, 1973.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, BF, 3 de agosto de 2010.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, BF, 31 de agosto de 1981.

BRASIL. Resolução CONAMA nº264, de 26 de agosto de 1999. Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos, Brasília, 20 de março de 2000. Seção 1, p. 80-83.

CHAPMAN, C.; RAY, R.; TAYLOR, R. Advanced thermal treatment of auto shredder residue and refuse derived fuel. **Journal Elsevier**. p. 401–409. Swindon, UK, 2013.

CIUCCIO, M. **Estudo de tendências e oportunidades no desenvolvimento sustentável para a reciclagem de veículos e seis materiais**. 2004. 191p. Pós-graduação em ciência e engenharia dos materiais, Universidade federal de São Carlos. Brasil, São Carlos, 2004.

DIN 51900. Testing of solid and liquid fuels - Determination of gross calorific value by the bomb calorimeter and calculation of net calorific value - Part 1: Principles, apparatus, methods. Deutsches Institut Für Normung E.V, 2000.

EA NEN 7371. Leaching characteristics of granular building and waste materials. The determination of the availability of inorganic components for leaching: The maximum availability leaching test. Environment Agency, UK, 2004.

EDO, M.; ARACIL, I.; FONT, R.; ANZANO, M.; FULLANA, A.; COLLINA, E. Viability study of automobile shredder residue as fuel. **Journal of Hazardous Materials**. p. 819– 824. Milano, Italy, 2013.

EN 12457-4. Characterization of waste. Leaching. Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges – Part 4: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10l/kg for materials with particle sizes below 10 mm (without or with size reduction). (Ed. 1). CEN, Bruxelas, 2002.

EPA - Environmental Protection Agency. Method 1311: Toxicity Characteristic Leaching Procedure. Washington, 1992.

EPA – Environmental Protection Agency. Method 3050b: acid digestion of sediments, sludges and soils, (compact disc). Washington, 1996.

EPA – Environmental Protection Agency. Method 3051a: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Washington, 1996.

EPA – Environmental Protection Agency. Method 3052: microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (compact disc). Washington, 1996.

EPA – Environmental Protection Agency. Method 5050: bomb preparation for solid waste. Washington, 1994.

FERNANDES, P.; OLIVEIRA, A. e HOTZA, D. Reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos. Parte 1: Ensaios Laboratoriais. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. **Cerâmica Industrial**. p. 26-34. Criciúma, Mar/Abr, 2003.

FERREIRA, F. **Análise da eficiência relativa das usinas mini-mills da Gerdau S.A nas Américas: Um estudo a partir da análise envoltória de dados**. 2012. 103p. Pós-graduação em ciências contábeis, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Brasil, São Leopoldo, 2012.

GERDAU. **Site**. Disponível em: <[www.gerdau.com.br](http://www.gerdau.com.br)>. Acesso em: 30 de mar. 2014.

GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em:

<[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/GUIAS\\_TECNICOS\\_AMBIENTAIS/guia\\_ceramica](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_ceramica)>. Acesso em: 15 mai 2016.

INSTITUTO DO AÇO BRASIL. Relatório de sustentabilidade. IABR: 2014. Disponível em:

<[http://www.acobrasil.org.br/site2015/downloads/Relatorio\\_Sustentabilidade\\_2014](http://www.acobrasil.org.br/site2015/downloads/Relatorio_Sustentabilidade_2014)>.

Acesso em: 14 jul. 2016.

INSTITUTO DO AÇO BRASIL.**Site**. Disponível em: <[www.acobrasil.org.br](http://www.acobrasil.org.br)>. Acesso em: 22 ago. 2016.

JUNIOR, J. **Obtenção, mercado e reciclagem de sucatas ferrosas na indústria siderúrgica brasileira**. 2013. 47p. Graduação em Engenharia Metalúrgica, Universidade federal do Rio de Janeiro. Brasil, Rio de Janeiro, 2013.

LOPES, D. **Estudo da Viabilidade de Adição de Resíduo de Pó de Fumo à Massa Cerâmica**. 2005. 94p. Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

LOPES, M.; BRANCO, V.; SOARES, J. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes v. 21**, n.1, 2013. p. 59-66. São Paulo, 2013.

LOPES, M.; FREIRE, M.; GALHETAS, M.; GULYURTLU, I.; CABRITA, I. Leachability of automotive shredder residues burned in a fluidized bed system. **Journal Elsevier**. p. 1760–1765. Lisboa, Portugal, 2009.

LUZ, A.; LINS, F. **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Rio de Janeiro, 2005.

MATSUTO, T.; HWANG, I.; YOKONO, S. Pretreatment of automobile shredder residue (ASR) for fuel utilization. **Science Direct Chemosphere 71**. p. 879-885. Sapporo, Japan, 2007.

MINITAB. **Site**. Disponível em: <[support.minitab.com/pt-br/minitab/17/](http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/)>. Acesso em: 30 out. 2016.

MOTHÉ, A. **Utilização da lama de alto-forno em cerâmica vermelha. Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2008.

PAULUZZI BLOCOS CERÂMICOS.**Site**. Disponível em: <[www.pauluzzi.com.br](http://www.pauluzzi.com.br)>. Acesso em: 01 de ago. 2016.

PUREZA, J. **Utilização de resíduos industriais de baixa granulometria em massas cerâmicas de argila vermelha: Aspectos tecnológicos e ambientais**.2004. 148p. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

RECKZIEGEL, V. **Caracterização para o aproveitamento do resíduo de um triturador de sucata em uma usina siderúrgica.** 2012. 90p. Pós-graduação em engenharia de minas, metalúrgica e de materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil, Porto Alegre, 2012.

RÊGO, V. **Efeito da adição de escória de aciaria em formulações de massa cerâmica para telhas.** 2010. 194p. Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Tese de Doutorado, Natal, 2010.

ROSSETTI, V.; MEDICI, F.; PALMA, L. Production of aggregate from non-metallic automotive shredder residues. **Journal of Hazardous Materials B137.** p. 1089–1095. Rome, Italy, 2006.

SALDANHA, R.et al. **Caracterização de resíduo da indústria siderúrgica para aproveitamento na construção civil - 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente.** Brasil, Bento Gonçalves, 2014.

SILVA, D. **Aplicação do resíduo de shredder de uma usina siderúrgica na indústria cimenteira.** 2008.82p. Pós-Graduação em Engenharia da Universidade de Pernambuco. Brasil, Pernambuco, 2008.

SILVA, P. **Obtenção e caracterização de cerâmica vermelha utilizando na matéria-prima resíduo argiloso do rerrefino de óleos minerais.**2010. 78p. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

STANDARD METHOD 3120B: Inductively Coupled Plasma (ICP) Method. Washington, 1992.

UCS. **RELATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DO SHERDDER.** Universidade Federal de Caxias do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – Laboratório de Energia e Bioprocessos, Caxias do Sul, 2016.

VIEIRA, A. **Análise do Processo Produtivo dos Tijolos Cerâmicos no Estado do Ceará** – da Extração da Matéria-Prima à Fabricação. 2009. 104p. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Brasil, Fortaleza, 2009.