

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE**  
**FABRICAÇÃO DE CONSUMÍVEIS PARA**  
**SOLDAGEM EM TIJOLOS DE CERÂMICA**  
**VERMELHA**

**Patrícia Elaine Moura Groenner**

**Belo Horizonte**

**2007**

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE  
FABRICAÇÃO DE CONSUMÍVEIS PARA SOLDAGEM  
EM TIJOLOS DE CERÂMICA VERMELHA**

**Patrícia Elaine Moura Groenner**

**Patrícia Elaine Moura Groenner**

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE  
FABRICAÇÃO DE CONSUMÍVEIS PARA SOLDAGEM  
EM TIJOLOS DE CERÂMICA VERMELHA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de Pesquisa: reciclagem, tratamento e disposição de resíduos sólidos industriais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liséte Celina Lange

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2007

## FOLHA DE APROVAÇÃO

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu amigo Denis Santiago, pelo incentivo inicial.

Ao Marcelo Tello (ex-Diretor Industrial da ESAB S/A), que viabilizou a realização deste trabalho nas dependências da empresa.

A minha amiga Chiara Lima, sem a qual esta pesquisa não teria se realizado.

Ao professor Wilfred Keller, pelas dicas iniciais.

A minha irmã Jairana Moura, pela ajuda nos ensaios de laboratório na UFMG.

A professora Liséte Lange, pelas suas preciosas dicas e orientação.

Ao Ricardo Barbosa, monitor do Laboratório de Materiais da UFMG, pela boa vontade e simpatia em estar sempre ajudando.

E por fim, a Deus por ter me dado persistência e energia para atravessar as dificuldades que encontrei pelo caminho.

## RESUMO

A indústria de consumíveis para soldagem fabrica diversos produtos que são utilizados como material de adição ou de revestimento em materiais metálicos, gerando grandes quantidades de resíduos ricos em metais tóxicos que, quando dispostos incorretamente, provocam impactos ambientais negativos.

Atualmente estes resíduos são dispostos em aterros industriais ou são co-processados em fornos de cimento.

No presente trabalho foi feito um estudo, em escala laboratorial, objetivando o aproveitamento deste resíduo como matéria-prima para fabricação de tijolos de cerâmica vermelha. O resíduo utilizado é resultante do processo de fabricação de eletrodos, arames tubulares, fluxos aglomerados e placas anti-desgaste.

Para atender este objetivo, o resíduo foi caracterizado segundo a norma ABNT NBR 10004:2004, e posteriormente foram executados testes de laboratório, tais como absorção de água, resistência à compressão, lixiviação e solubilização, para verificar seu aproveitamento como matéria-prima na fabricação de tijolos sem que as propriedades funcionais destes fossem afetadas e sem que o produto final gerado pudesse apresentar alguma característica que tornasse inviável a utilização do resíduo para este fim.

Os resultados experimentais mostraram que adições de até 10% em peso do resíduo na argila não demonstram restrições técnicas ou ambientais podendo ser, portanto, utilizado como matéria-prima na fabricação de tijolos de cerâmica vermelha.

**Palavras-chave:** resíduo de soldagem, reciclagem, cerâmica vermelha, metais tóxicos.

## ABSTRACT

The consumables welding industry manufactures a large quantity of products that are utilized as welding or coating material on metallic materials, generating big quantities of waste rich in toxic metals that causes negative environmental impacts when disposed incorrectly.

At present, these wastes are disposed in industrial landfills or they are co-processed in cement ovens.

In this thesis was done a laboratory scale study, in order to planning the utilization of this waste as raw material to make red ceramic bricks. The waste utilized is resultant of the manufacturing process of electrodes, flux cored wires, fluxes and wear plates.

To attend this objective, the waste was characterized according to the ABNT NBR 10004:2004 standard, and subsequently were performed laboratory tests such as water absorption, compression resistance, leaching and solubility to verify its utilization as raw material to manufacture bricks without affected its functional characteristics and wouldn't not permit that the final product generated have some characteristic that became impracticable the utilization of the waste for this finality.

The experimental results showed that additions up to 10% in weight of the waste in the clay do not show technical or environmental restrictions. They can be utilized as raw material to manufacture ceramic bricks.

**Keywords:** welding waste, recycling, red ceramic, toxic metals.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>X</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
3.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	4
3.2 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	5
3.2.1 <i>Gerenciamento integrado de resíduos</i> .....	6
3.2.2 <i>Incentivos para a redução de resíduos</i> .....	7
3.2.3 <i>Técnicas de minimização de resíduos</i> .....	8
3.2.3.1 Redução na fonte .....	8
3.2.3.2 Reciclagem (uso ou reuso) .....	9
3.2.4 <i>Bolsa de resíduos</i> .....	11
3.3 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NO BRASIL: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS .....	11
3.4 CONSUMÍVEIS PARA SOLDAGEM .....	14
3.4.1 <i>Histórico</i> .....	14
3.4.2 <i>A Indústria de Consumíveis para Soldagem</i> .....	15
3.4.3 <i>Processo de fabricação e identificação dos pontos de geração de resíduos</i> .....	16
3.4.3.1 Eletrodos.....	16
3.4.3.2 Arame Tubular.....	17
3.4.3.3 Fluxos Aglomerados.....	19
3.4.3.4 Placas Anti-desgaste .....	20
3.4.3.5 Homogeneização dos pós .....	20
3.4.3.6 Matérias-primas .....	21
3.5 A INDÚSTRIA CERÂMICA.....	22
3.5.1 <i>A cerâmica na história</i> .....	22
3.5.2 <i>A indústria cerâmica no Brasil</i> .....	23
3.5.3 <i>Classificação dos materiais cerâmicos</i> .....	25
3.5.4 <i>Matérias-primas</i> .....	28
3.5.5 <i>Processo de fabricação</i> .....	29

<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
4.1	IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE GERAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	33
4.2	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CONSUMÍVEIS PARA SOLDAGEM.....	35
4.2.1	<i>Amostragem.....</i>	35
4.2.2	<i>Ensaio de solubilização.....</i>	36
4.2.3	<i>Ensaio de lixiviação.....</i>	37
4.3	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO DA ARGILA USADA NA PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	37
4.4	AVALIAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL DO USO DO RESÍDUO NA INCORPORAÇÃO EM CORPOS CERÂMICOS.....	38
4.4.1	<i>Resíduo composto.....</i>	38
4.4.2	<i>Preparação dos corpos de prova.....</i>	39
4.4.3	<i>Ensaio físico para análise dos corpos de prova.....</i>	41
4.4.3.1	<i>Cor após queima.....</i>	41
4.4.3.2	<i>Absorção de água.....</i>	42
4.4.3.3	<i>Resistência à compressão.....</i>	42
4.5	AVALIAÇÃO DO PRODUTO FINAL.....	43
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>45</b>
5.1	IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE GERAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS.....	45
5.2	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CONSUMÍVEIS PARA SOLDAGEM.....	46
5.2.1	<i>Resíduo 1 – RES 1.....</i>	47
5.2.2	<i>Resíduo 2 – RES 2.....</i>	49
5.2.3	<i>Resíduo 3 – RES 3.....</i>	49
5.2.4	<i>Resíduo 4 – RES 4.....</i>	50
5.2.5	<i>Resíduo 5 – RES 5.....</i>	51
5.2.6	<i>Resíduo 6 – RES 6.....</i>	52
5.1.7	<i>Resíduo 7 – RES 7.....</i>	54
5.1.8	<i>Resíduo 8 – RES 8.....</i>	55
5.1.9	<i>Resíduo 9 – RES 9.....</i>	56
5.1.10	<i>Resíduo 10 – RES 10.....</i>	56
5.1.11	<i>Resíduo 11 – RES 11.....</i>	58
5.3	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO DA ARGILA USADA NA PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	59
5.4	AVALIAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL DO USO DO RESÍDUO NA INCORPORAÇÃO EM CORPOS CERÂMICOS.....	62

5.4.1	<i>Resultados da análise semi-quantitativa do Resíduo Composto</i> .....	62
5.4.2	<i>Ensaaios físicos para análise dos corpos de prova</i> .....	63
5.4.2.1	Cor após queima .....	63
5.4.2.2	Absorção de água.....	65
5.4.2.3	Ensaio de resistência à compressão .....	65
5.5	AVALIAÇÃO DO PRODUTO FINAL .....	65
5.5.1	<i>Corpos de Prova com 5% de resíduo</i> .....	66
5.5.2	<i>Corpos de Prova com 10% de resíduo</i> .....	67
5.5.3	<i>Corpos de Prova com 15% de resíduo</i> .....	69
5.5.4	<i>Corpos de Prova com 20% de resíduo</i> .....	70
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>74</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> - Técnicas de minimização de resíduos.....	10
<b>Figura 3.2</b> - Consumíveis para soldagem .....	15
<b>Figura 3.3</b> - Fluxograma do processo de fabricação de eletrodos .....	16
<b>Figura 3.4</b> - Fluxograma do processo de fabricação de arames tubulares.....	18
<b>Figura 3.5</b> - Fluxograma do processo de fabricação de fluxos aglomerados .....	19
<b>Figura 3.6</b> - Fluxograma do processo de fabricação de placas anti-desgaste.....	20
<b>Figura 3.7</b> - Fluxograma do processo de fabricação de cerâmica vermelha .....	32
<b>Figura 4.1</b> - Coleta do resíduo 1 .....	36
<b>Figura 4.3</b> - Preparação da argila para utilização nos corpos de prova .....	40
<b>Figura 4.4</b> - Ensaio de compressão em corpo de prova.....	43
<b>Figura 5.1</b> - Resíduos identificados .....	47
<b>Figura 5.2</b> - Difratoograma de raio-X da argila usada nos corpos de prova .....	60
<b>Figura 5.3</b> - Coloração dos corpos de prova.....	64

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Principais tipos de eletrodos revestidos produzidos pela ESAB S/A.....	17
<b>Tabela 3.2</b> - Principais tipos de arames tubulares produzidos pela ESAB S/A.....	18
<b>Tabela 3.3</b> – Principais tipos de fluxos produzidos pela ESAB S/A.....	19
<b>Tabela 3.4</b> - Principais matérias-primas utilizadas na fabricação de consumíveis de soldagem.....	21
<b>Tabela 3.5</b> – Números do setor cerâmica vermelha.....	25
<b>Tabela 3.6</b> – Matérias-primas utilizadas na fabricação de cerâmicas.....	28
<b>Tabela 4.1</b> – Produtos do principal <i>mix</i> de produção.....	34
<b>Tabela 4.2</b> – Composição química típica dos produtos.....	34
<b>Tabela 4.3</b> – Quantidade de resíduo utilizado na preparação do resíduo composto.....	39
<b>Tabela 4.4</b> – Formulação dos corpos de prova.....	40
<b>Tabela 4.5</b> – Parâmetros de análise escolhidos para a avaliação do produto final.....	44
<b>Tabela 5.1</b> – Resíduos gerados por tipo de consumível e respectivas fases do processo.....	45
<b>Tabela 5.2</b> – Quantidade de resíduos gerados por processo no dia da coleta.....	45
<b>Tabela 5.3</b> - Quantidade média de resíduo gerado por ano.....	46
<b>Tabela 5.4</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 1 (RES 1) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.....	47
<b>Tabela 5.5</b> – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 1 (RES 1) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	48
<b>Tabela 5.6</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 2 (RES 2) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.....	49
<b>Tabela 5.7</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 3 (RES 3) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.....	49
<b>Tabela 5.8</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 4 (RES4) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.....	50
<b>Tabela 5.9</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 5 (RES 5) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.....	51
<b>Tabela 5.10</b> – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 5 (RES 5) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	51
<b>Tabela 5.11</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 6 (RES 6) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.....	52
<b>Tabela 5.12</b> – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 6 (RES 6) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	53
<b>Tabela 5.13</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 7 (RES 7) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.....	54
<b>Tabela 5.14</b> – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 7 (RES 7) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	54

<b>Tabela 5.15</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 8 (RES 8) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004 .....	55
<b>Tabela 5.16</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 9 (RES 9) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004 .....	56
<b>Tabela 5.17</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 10 (RES 10) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004 .....	56
<b>Tabela 5.18</b> – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 10 (RES 10) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	57
<b>Tabela 5.19</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 11 (RES 11) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004 .....	58
<b>Tabela 5.20</b> - Classificação dos resíduos e respectivas fases do processo de origem .....	59
<b>Tabela 5.21</b> - Resultados da análise química semi-quantitativa da argila por fluorescência de raios-x .....	59
<b>Tabela 5.22</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para a argila usada nos corpos de prova de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004 .....	61
<b>Tabela 5.23</b> – Resultados do ensaio de solubilização para a argila usada nos corpos de prova de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	61
<b>Tabela 5.24</b> - Resultados da análise química semi-quantitativa por fluorescência de raios-x do resíduo composto.....	62
<b>Tabela 5.25</b> – Coloração dos corpos de prova após a queima.....	64
<b>Tabela 5.26</b> – Resultados do ensaio de absorção de água pelos corpos de prova .....	65
<b>Tabela 5.27</b> – Resultados do ensaio de resistência à compressão nos corpos de prova .....	65
<b>Tabela 5.28</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para os CP's com 5% de resíduo de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004 .....	66
<b>Tabela 5.29</b> – Resultados do ensaio de solubilização para os CP's com 5% de resíduo de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	66
<b>Tabela 5.30</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para os CP's com 10% de resíduo de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004 .....	67
<b>Tabela 5.31</b> – Resultados do ensaio de solubilização para os CP's com 10% de resíduo de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	68
<b>Tabela 5.32</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para os CP's com 15% de resíduo de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004 .....	69
<b>Tabela 5.33</b> – Resultados do ensaio de solubilização para os CP's com 15% de resíduos de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	69
<b>Tabela 5.34</b> – Resultados do ensaio de lixiviação para os CP's com 20% de resíduos de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004 .....	70
<b>Tabela 5.35</b> – Resultados do ensaio de solubilização para os CP's com 20% de resíduos de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004.....	71
<b>Tabela 5.36</b> - Classificação dos corpos de prova conforme percentual de resíduo .....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica
AWS	American Welding Society
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
IETEC	Instituto de Educação Tecnológica
RES	Resíduo
U.S. EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

# 1 INTRODUÇÃO

Todo processo industrial está caracterizado pelo uso de insumos (matérias-primas, água, energia, etc) que, submetidos a uma transformação, dão lugar a produtos, subprodutos e resíduos.

O crescimento das atividades industriais concorre para o aumento da quantidade gerada de resíduos sólidos, o que tem agravado o desafio a ser enfrentado pelas indústrias de descartar, dispor e tratar de forma sistemática, econômica e ambientalmente adequada os resíduos gerados nas suas atividades.

A degradação do meio ambiente é sem dúvida alguma, um dos problemas mais importantes que tem acompanhado a humanidade nestas últimas décadas (COSTA, *et al.*, 2002).

Quando se fala em meio ambiente, no entanto, o empresário imediatamente pensa em custo adicional. Dessa maneira passam despercebidas as oportunidades de reduções de custos. Considerando os resíduos um potencial de recursos ociosos ou mal aproveitados, sua inclusão no horizonte de negócios pode resultar em atividades que proporcionam lucro ou pelo menos se paguem com a poupança de energia ou de outros recursos naturais.

Neste sentido, as empresas necessitam empenhar-se na contenção ou eliminação dos volumes de resíduos, decorrentes de seu processo produtivo e do uso ou consumo de seus produtos, de forma a não agredir o meio ambiente (KRAEMER, 2005).

Um correto gerenciamento dos resíduos sólidos numa indústria, com a implementação de técnicas de minimização dos mesmos, contribui significativamente para sua redução na fonte geradora e, conseqüentemente, diminuição dos custos da atividade de disposição dos resíduos.

Vários fatores impulsionam as indústrias a procurarem destino alternativo e seguro para seus resíduos como: responsabilidade ambiental; elevado custo de disposição em aterros industriais ou a falta de espaço para esta disposição; e possibilidade de transformar o resíduo em um outro produto que é uma vantagem considerável para a diminuição da poluição industrial.

O uso de materiais cerâmicos, principalmente aqueles de cerâmica estrutural, tem sido considerado para o encapsulamento de rejeitos com teores elevados de metais potencialmente tóxicos como chumbo, cádmio, níquel, cromo e outros. Essa utilização tem embasamento na

suposição que os compostos vítreos, ricos em metais tóxicos, que se formam durante a queima, seriam estáveis frente a lixiviação que ocorre durante a vida útil e também na condição de entulho dos materiais cerâmicos (CAMARGO *et al.*, 2005).

Diante disso, este trabalho propõe uma maneira ambientalmente correta de disponibilizar o resíduo proveniente da fabricação de consumíveis para soldagem, como matéria-prima para a fabricação de tijolos de cerâmica vermelha sem que seja alterada as características finais do produto, mantendo sua funcionalidade e reduzindo o consumo de recursos naturais como a argila.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 *Objetivo Geral***

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a viabilidade técnica e ambiental do reaproveitamento do resíduo de fabricação de consumíveis para soldagem em tijolos de cerâmica vermelha.

### **2.2 *Objetivos específicos***

- Identificar os pontos de geração e quantificar cada tipo de resíduo gerado;
- caracterizar quimicamente e classificar os resíduos do processo de fabricação de consumíveis para soldagem;
- caracterizar quimicamente e classificar a argila utilizada para a preparação dos corpos de prova;
- avaliar em escala laboratorial o uso do resíduo na incorporação em corpos cerâmicos;
- avaliar se o produto final atende às especificações técnicas e ambientais.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

A apresentação desta revisão da literatura está dividida em cinco partes. A primeira apresenta a definição de resíduos sólidos. A segunda trata do gerenciamento destes resíduos. A terceira descreve a situação atual dos resíduos sólidos no Brasil. A quarta parte apresenta os produtos Consumíveis para Soldagem e seus processos de fabricação e a quinta parte descreve a indústria de fabricação de tijolos de cerâmica vermelha e seu processo produtivo.

#### 3.1 *Definição e classificação de resíduos sólidos*

Segundo a norma ABNT NBR 10004:2004 os resíduos sólidos são os *“resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”*

Estes resíduos são classificados de acordo com a referida norma em:

- Resíduos classe I – Perigosos: são aqueles que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, ou constem nos anexos A ou B da ABNT NBR 10004:2004.
- Resíduos classe II – Não perigosos: estes resíduos são subdivididos em:
  - Resíduos classe II A – Não inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes, nos termos da norma ABNT NBR 10004:2004. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
  - Resíduos classe II B – Inertes: são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com a água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes

solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor conforme anexo G na norma ABNT NBR 10004:2004.

### **3.2 Gerenciamento dos resíduos sólidos**

A abordagem de gerenciamento de resíduos sólidos perigosos têm passado por muitas mudanças ultimamente. Estas mudanças refletem o nível de industrialização, atitudes sociais, e tendências da população. Durante o primeiro século da Revolução Industrial (1760-1860), quando a máquina a vapor foi inventada e o uso de dinamite como um poderoso explosivo foi descoberto, foi adotada a filosofia de *diluir e dispersar* para manusear o resíduo. Resíduos eram dispostos em terra ou lançados na água e no ar. Geralmente, a baixa concentração de produtos químicos tóxicos e a relativa pureza do meio ambiente trabalharam como vantagem e a poluição da água e do ar extinguíam-se por si mesmos. Esta abordagem foi usada por um longo tempo. Entretanto, o crescimento da população e a sintetização de uma enorme variedade de produtos químicos usados amplamente nas indústrias, fez com que esta filosofia não mais fosse aplicável.

Segundo Haas *et al.* (1995), uma nova abordagem, *concentrar e conter*, veio a tona durante o segundo século da Revolução Industrial. Esta abordagem funcionou satisfatoriamente por algum tempo; porém, ela foi mais tarde abandonada pelo fato de que contenedores de resíduos são objeto de vazamento, apresentando uma ameaça ao meio ambiente. Durante os anos 70 e no início dos anos 80 uma nova filosofia envolveu a chamada *conservação e reciclagem*. Enquanto essa abordagem tem nos servido bem na conservação de recursos valiosos, ela não tem ajudado a resolver o problema da redução da quantidade e natureza tóxica de alguns resíduos perigosos. Além disso todo material segregado para a reciclagem continua sendo um resíduo até que ele seja reusado.

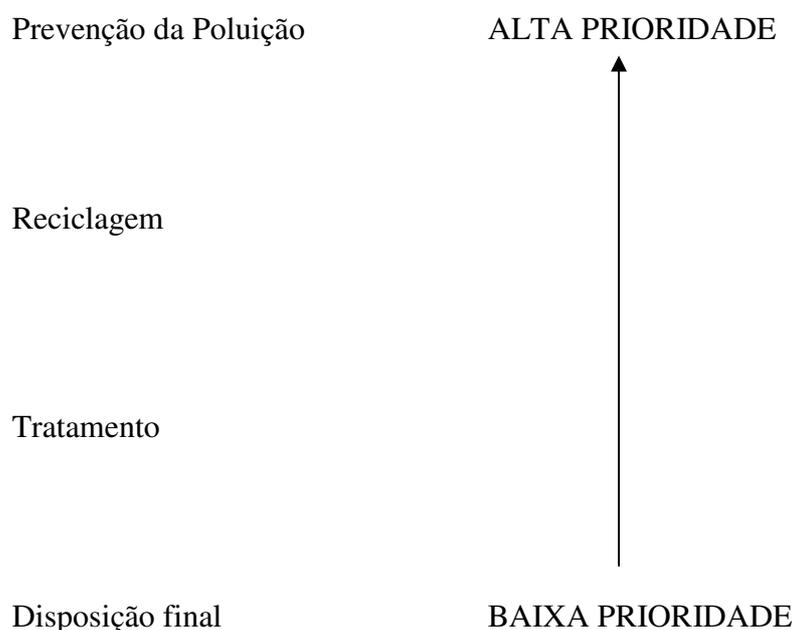
A quantidade de resíduos perigosos gerados tem aumentado nos últimos anos, e sua toxicidade tem atingido altos níveis. A atual ênfase em *prevenção da poluição*, pode ser definida como uma prática que resulta na redução ou eliminação de poluentes antes da reciclagem, tratamento ou disposição. Muitos produtos químicos devido à sua toxicidade, podem causar impactos adversos ao meio ambiente e têm sido identificados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – U.S. EPA – para imediata redução.

### 3.2.1 Gerenciamento integrado de resíduos

Segundo Hasan (1996), o gerenciamento integrado de resíduos representa uma abordagem compreensiva da prevenção da poluição e inclui os seguintes componentes:

- Redução na fonte – inclui eliminação e substituição de materiais tóxicos na fonte.
- Reciclagem – inclui recuperação, reuso e tratamento.
- Disposição residual – resíduo final após a reciclagem que tem que ser disposto.

O gerenciamento integrado de resíduos requer uma melhor ênfase em eliminação e redução de resíduos na fonte do que a disposição final. A redução da quantidade de resíduos minimizará a emissão de poluentes para o meio ambiente, resultando na prevenção da poluição (HASAN, 1996). Entre as várias opções de gerenciamento de resíduos atualmente disponíveis, as seguintes representam as mais preferidas, baseadas no potencial impacto no meio ambiente de um particular método de disposição:



Um dos principais aspectos do gerenciamento integrado de resíduos é que ele força os geradores a verificarem todo o processo de manufatura ao invés de considerar somente o final do processo – abordagem *end-of-the-pipeline*. A diferença entre os dois é que no processo integrado o foco é a eliminação, substituição e redução de materiais perigosos nos vários

estágios de manufatura, enquanto que na abordagem *end-of-the-pipeline* não existe foco nestas opções, ela aceita e gerencia o resíduo como um resultado inevitável do processo.

Para promover o gerenciamento integrado de resíduos é necessário: (a) identificar quais etapas do processo geram resíduos e, (b) explorar as opções para eliminar ou minimizar a geração do resíduo. Simples medidas de boas práticas, tais como a segregação de resíduos, para serem mais facilmente reusados, resultam, algumas vezes, em surpreendentes reduções de resíduos. Outras opções incluem: modificações no processo de manufatura usando diferentes matérias-primas e substituição de produtos perigosos.

### **3.2.2 Incentivos para a redução de resíduos**

Em adição aos requisitos legais, existem muitas razões para uma indústria reduzir seus resíduos tais como:

- Econômicas: redução de custos com disposição em aterros, eliminação de tratamentos alternativos mais caros, economia de matérias-primas, redução de custos de manufatura, etc.

Segundo Haas (1995), nos Estados Unidos o custo de colocar os resíduos perigosos em aterros aumentou mais de 16 vezes desde os anos 70 e o custo de incineração está entre US\$500 e US\$1500/t. De fato, o custo de gerenciamento dos resíduos é o maior item de despesas para muitas companhias. Por exemplo, a DuPont, a maior empresa fabricante de produtos químicos nos Estados Unidos, estava gastando mais do que US\$100 milhões anualmente com o gerenciamento de seus resíduos no final dos anos 80.

- Regulatórias: requisitos restritos para manuseio e tratamento de resíduos, restrições e proibições para disposição em aterros, etc.

Em 1990, a EPA impôs restrições significativas para disposição em aterros de certos resíduos, incluindo lodos, solventes, produtos químicos tóxicos e águas residuárias sem um tratamento prévio para trazer o nível de contaminantes ao permitido pelas normas (U.S. EPA, 2005).

- Imagem pública: incentivos administrativos para a prevenção da poluição resulta numa melhor imagem pública da companhia. Estes incentivos são também bem aceitos pelos empregados, resultando num aumento de produtividade.

Os incentivos acima tem encorajado muitas empresas a implementar programas de minimização de resíduos. Invariavelmente, tais esforços vinculam consideráveis economias na manufatura e nos custos de disposição.

Além disso as indústrias estão ativamente procurando alternativas para que, quando seus produtos atingirem o fim da vida útil, eles possam ser reciclados em outros produtos ou materiais sem que haja necessidade de uma disposição final. Isto tem dado lugar a um novo conceito do *berço-ao-berço* em oposição ao conceito *do-berço-ao-túmulo* (HASAN, 1996). Materiais e produtos mais amigáveis ao meio ambiente estão sendo usados nas indústrias, com ênfase no design ambiental. Algumas empresas começaram a perceber as conseqüências ambientais dos seus produtos ao longo do seu ciclo de vida e ferramentas como *eco-design* e análise do ciclo de vida, começaram a ser parte integrante das práticas de mercado destas empresas. Nas tecnologias de processamento de produtos em fim de vida, verifica-se que inovações na engenharia de desenvolvimento do produto (*eco-design*) devem ser consideradas para além do ciclo de vida deste produto, considerando, por exemplo, a incorporação de material reciclado em outros produtos, o que obriga a uma visão sistêmica do problema. Este modelo é promovido pelo princípio da extensão da responsabilidade do produtor, que é responsável por assegurar níveis mínimos de reciclagem/reutilização dos materiais constituintes do produto em fim de vida (LUÍZIO, *et al.*, 2005).

### **3.2.3 Técnicas de minimização de resíduos**

#### **3.2.3.1 Redução na fonte**

A redução na fonte inclui qualquer atividade que reduza ou elimine a geração de um resíduo dentro do processo.

Pode ser acompanhada por mudanças no produto e controle de recursos, sendo que este último inclui mudanças de matérias-primas, mudanças ou modificações na tecnologia existente e boas práticas de operação.

As Boas Práticas de Operação estão relacionadas com o aspecto humano das operações de manufatura. Qualquer medida, processual, administrativa ou institucional, que uma empresa possa adotar para reduzir a geração de resíduo, constitui numa boa prática de operação. Estas práticas podem ser implementadas em todas as áreas da empresa, freqüentemente com baixo custo apresentando um alto retorno sobre o investimento.

Muitas vezes os proprietários de manufaturas acreditam que os processos de fabricação já estão projetados para que os produtos sejam fabricados com uma quantidade otimizada de matérias-primas e energia resultando em produtos de alta qualidade e com alto rendimento. Esta atitude, na maioria das vezes, impossibilita alguma consideração de introdução de mudanças tecnológicas dentro dos processos produtivos que resultariam em significantes reduções na geração de resíduos.

Mudanças tecnológicas incluem: mudanças nos processos de produção; em equipamentos, layout, uso de automação; e em parâmetros de processo como temperatura, pressão, etc. Muitas dessas mudanças podem ser realizadas em poucos dias e podem até não envolver altos custos.

A mudança de insumos contribui com a minimização ou eliminação de materiais que desnecessariamente entram no processo de produção. Pela substituição de insumos, é possível evitar a geração de resíduos, inclusive perigosos, dentro do processo produtivo.

Uma manufatura pode eliminar ou reduzir a geração de resíduos perigosos pela substituição de materiais perigosos por não perigosos, alterando a composição do produto mas mantendo todas as suas características funcionais. Por exemplo, tintas à base de solventes tóxicos podem ser substituídas por tintas à base de água.

Isto envolve um cuidadoso gerenciamento do estoque de materiais perigosos. Produtos químicos que tem uma validade muito curta não devem ser estocados em grandes quantidades ou devem ser substituídos por outros que tenham um prazo de validade maior. Estas ações assegurarão uma completa utilização de tais materiais, evitando perdas e resíduos perigosos.

Uma simples mudança na embalagem do produto, substituindo um material por outro ou reduzindo o volume da embalagem, pode eliminar a geração de resíduos como um todo.

### 3.2.3.2 Reciclagem (uso ou reuso)

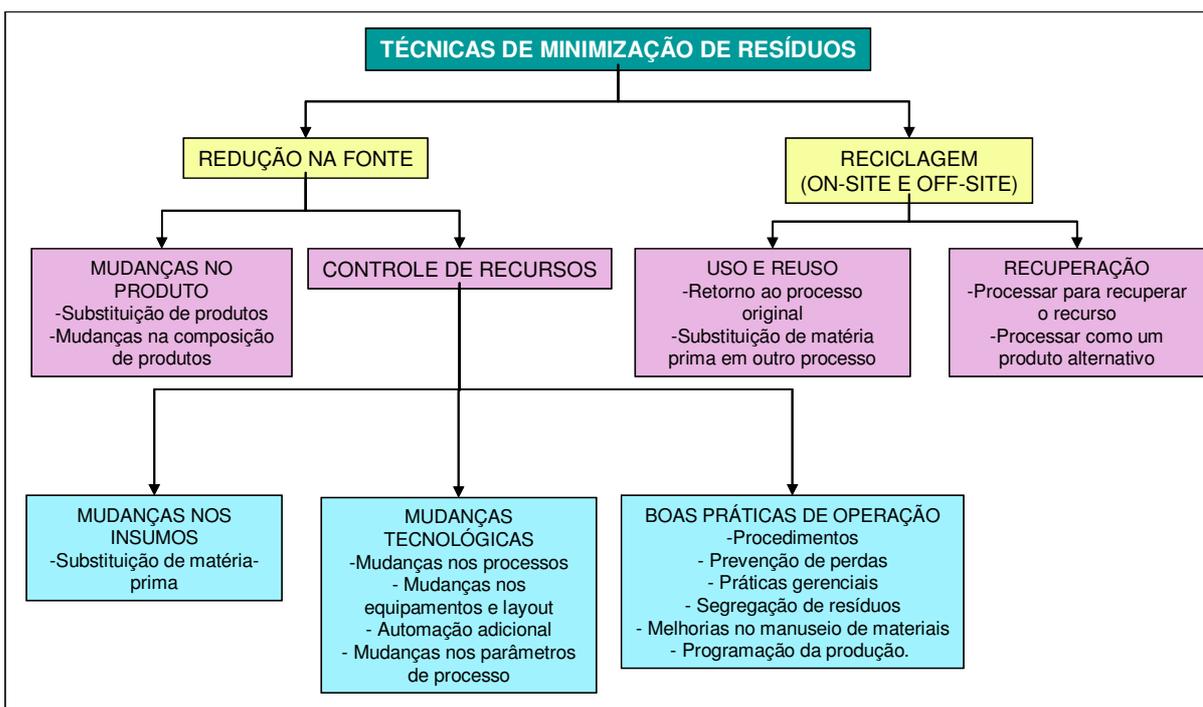
A reciclagem envolve uso, reuso ou recuperação de algum material. Um material é usado ou reusado se for: (a) usado como um ingrediente para fazer um produto, ou (b) empregado num particular processo como um substituto efetivo de um produto existente.

A reciclagem pode ser feita no local onde o resíduo é gerado (*onsite*) ou em outro local (*offsite*). O material reciclado pode ser usado no processo original como um substituto ou como um insumo, ou também pode ser usado em outro processo como matéria-prima.

A recuperação de materiais úteis ou valiosos a partir de resíduos tem ganhado popularidade nos últimos 10 anos. Esta técnica é diferente da técnica de uso e reuso porque o material regenerado não é usado no local onde foi gerado, mas é vendido para uma empresa de um outro ramo de atividade.

Um programa viável de minimização de resíduos deve dar maior ênfase na redução na fonte do que na reciclagem, porque a redução na fonte evita a geração de resíduos (prevenção da poluição). Por outro lado, a reciclagem explora as possibilidades de utilização de materiais perigosos para um propósito benéfico; embora isto não reduza o volume de resíduos gerados.

Várias técnicas de minimização de resíduos são mostradas na figura 3.1.



**Figura 3.1 - Técnicas de minimização de resíduos**

Fonte: HASAN, 1996.

### **3.2.4 Bolsa de resíduos**

A bolsa de resíduos é uma parceria baseada na idéia de que um gerador de resíduos pode ser também um receptor de resíduo de um outro gerador. A troca de resíduos pode ser uma atitude de entidades privadas ou governamentais que tentam unir geradores de resíduos perigosos e companhias que podem usar estes resíduos como matérias-primas ou como substituto de algum insumo em suas operações.

Existem dois tipos de troca de resíduos: troca de informações (troca passiva) e troca de materiais (troca ativa). A troca de informações consiste em disponibilizar os contatos das empresas que geram resíduos e que usam resíduos. Estas entidades colocam em contato os geradores e os usuários com o objetivo de reciclar os resíduos nos processos de manufatura (HASAN, 1996).

Esta pesquisa seguirá a técnica de reciclagem *offsite* envolvendo o uso do resíduo como matéria-prima na fabricação de tijolos.

### **3.3 Resíduos sólidos industriais no Brasil: situação atual e perspectivas**

Segundo Jucá (2006), a questão dos resíduos sólidos no Brasil tem sido amplamente discutida na sociedade, a partir de vários levantamentos da situação atual brasileira. De uma forma geral este assunto permeou por várias áreas do conhecimento, incluindo o saneamento básico, o meio ambiente, a inserção social e econômica dos processos de triagem e reciclagem dos materiais. As perspectivas incluem, do ponto de vista de gestão, uma tendência para a privatização de aterros de resíduos especiais. Em relação a regiões metropolitanas existe uma tendência à busca de soluções compartilhadas através de consórcios ou acordos entre os municípios para tratamento e destinação final dos resíduos.

A destinação final dos resíduos sólidos gerados nas áreas industriais é um aspecto que vem demandando cada vez mais o envolvimento de diferentes setores da sociedade para o estabelecimento de um adequado ciclo produção-disposição final, tanto sob o ponto de vista técnico quanto sócio-político. Evidentemente, as soluções políticas só podem se consolidar através do correto embasamento técnico, considerando-se, antes de tudo, que as soluções técnicas devem ser compatíveis com as políticas ambientais específicas para cada região. Na gestão integrada de resíduos sólidos a tendência é a redução do volume de resíduos,

buscando-se soluções integradas, que incluem diversas possibilidades de tratamento para o resíduo sólido, como a minimização e o reaproveitamento na origem, a coleta seletiva e reciclagem, a compostagem, a incineração e a disposição final dos resíduos em aterros apropriados. Neste modelo de gestão há uma redução considerável de volume final dos resíduos, os quais sempre serão gerados, necessitando de local para sua disposição final. Tanto o modelo atual de geração de volumes cada vez maiores de resíduos, quanto o modelo ideal de redução de volume de resíduos evidenciam a importância de estudos e ações voltados à correta disposição dos mesmos, o que inclui a seleção de áreas mais adequadas para esta finalidade.

Conforme estimativa da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais dos 2,9 milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos gerados anualmente no Brasil, somente 600 mil toneladas, cerca de 22%, recebem tratamento adequado. Os 78% restantes são depositados indevidamente em lixões, sem qualquer tipo de tratamento, criando um passivo ambiental de R\$ 5 bilhões na última década que cresce R\$0,5 milhão a cada ano. Dos rejeitos industriais tratados adequadamente, 72% vão para aterros, 4% é incinerado e os 24% restantes são co-processados (ou seja, transformam-se, por meio de queima, em parte de matéria-prima para a fabricação de cimento) (ABETRE, 2006).

Esses 2,3 milhões de toneladas de resíduos industriais jogados em lixões significam possibilidade de contaminações e agressões ao meio ambiente. Se considerarmos apenas metade dessa quantidade como sujeita a futuras fiscalizações, o país vê crescer, por ano, em 1,15 milhão de toneladas o seu resíduo industrial alocado indevidamente. Nos últimos dez anos, esse montante passou para cerca de 12 milhões de toneladas.

O inventário estadual de resíduos sólidos industriais do Estado de Minas Gerais realizado pela FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente, em 2003, com a finalidade de cumprir o disposto na Resolução CONAMA 313/02, teve como um dos objetivos conhecer e caracterizar os resíduos industriais do Estado a fim de buscar formas mais adequadas e seguras de reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final dos resíduos.

Resumidamente, os resultados mostraram que 5,46% dos resíduos são perigosos, sendo que 10% deste total foi encaminhado para algum tipo de disposição fora das dependências da empresa e 33,4% são co-processados. Dentre os maiores geradores destaca-se, em número de

empresas e em geração individual por empresa, o setor de metalurgia básica que também é o setor gerador da maior quantidade de resíduos perigosos. Cerca de 74,8% da quantidade de resíduo gerado está concentrada no ramo metalúrgico (FEAM, 2006).

O gerenciamento dos resíduos é hoje um dos principais desafios vivenciado pelas indústrias brasileiras. A gestão dos resíduos sólidos se caracteriza pela necessidade da implantação da gestão do conhecimento dos resíduos nelas gerados, ou seja, a necessidade de se caracterizar e quantificar quais são os resíduos industriais perigosos, não perigosos e os inertes gerados no âmbito da indústria. Nos estados onde é exigido pelos órgãos de controle que as indústrias façam os inventários de seus resíduos têm-se dados sobre os tipos de resíduos gerados viabilizando a implementação da gestão de resíduos pela própria indústria.

Uma gestão de resíduos sólidos eficiente deve contemplar as etapas de manuseio, acondicionamento, armazenamento, transporte, reciclagem, tratamento e disposição final dos resíduos.

Outro aspecto importante da gestão de resíduos é a mudança de visão com relação aos mesmos. Os resíduos industriais não podem ser vistos como algo sem valor econômico e sem utilidade – apenas passíveis de serem dispostos no meio ambiente – eles devem ser vistos como matérias-primas secundárias para a própria produção industrial que o gerou ou para outros processamentos industriais. A ABETRE calcula que o potencial do mercado de destinação de resíduo industrial perigoso é de R\$ 1 bilhão por ano no Brasil. Atualmente, porém, o tratamento e a disposição de rejeitos geram um faturamento de aproximadamente R\$ 240 milhões, valor cinco vezes menor do que o potencial.

Vários fatores impulsionam as indústrias a procurarem destino alternativo e seguro para seus resíduos. Alguns são: a responsabilidade ambiental; o elevado custo de disposição em aterros industriais; e a possibilidade de transformar o resíduo em subproduto (YOSHIMURA *et al.*, 2005).

Para um sucesso ainda maior das indústrias no processo de administração de resíduos industriais, se faz necessário um trabalho de educação ambiental, além do incentivo a pesquisas sobre tecnologias limpas e técnicas de reciclagem. A educação ambiental é de extrema importância para a conscientização das empresas e da comunidade em geral sobre o correto trato com os resíduos, sobretudo com as mudanças de hábitos culturais que visem o

seu reaproveitamento (IETEC, 2005). A educação ambiental deve considerar os aspectos relevantes ao consumo responsável, o uso racional de energia e da água, e o lixo em todas suas formas (BUTTER, 2003).

O custo para implantar e manter um programa de gestão de resíduos é um investimento que inicialmente é significativo, mas que compensa pelos benefícios dele decorrentes e que a terceirização dos serviços, transporte e destinação final dos resíduos são uma alternativa para a redução dos custos.

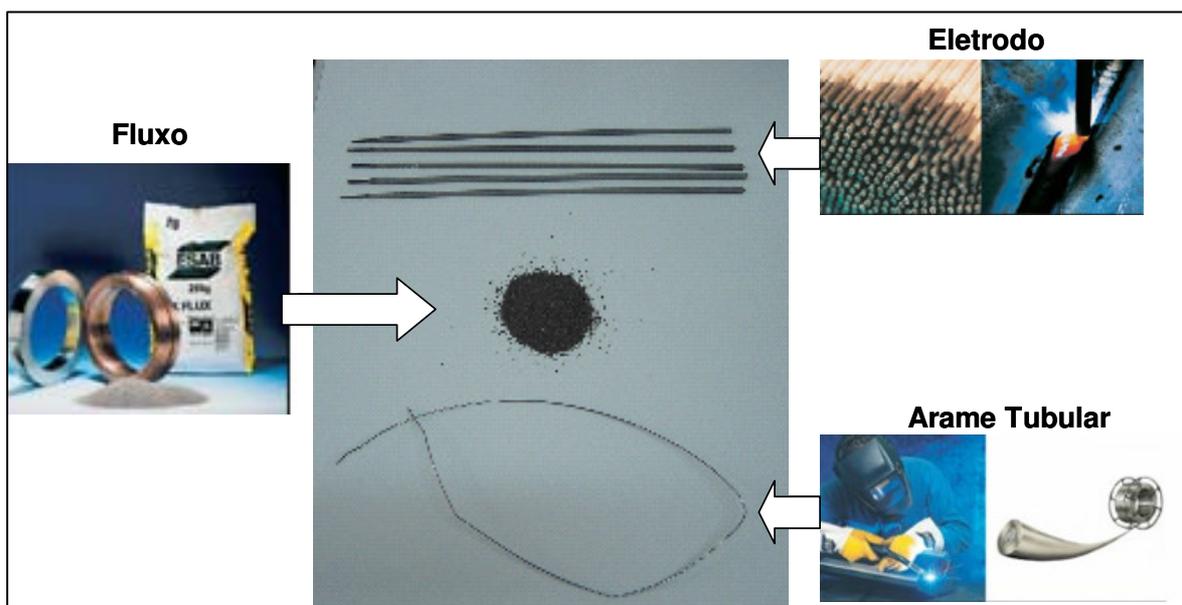
### **3.4 Consumíveis para soldagem**

#### **3.4.1 Histórico**

O século XX dava seus primeiros passos quando o proprietário de uma pequena oficina mecânica na Suécia, Oscar Kjellberg, inventou o processo de soldagem através de eletrodos revestidos. A idéia de Kjellberg foi um sucesso e desde então os fabricantes de consumíveis para soldagem têm desenvolvido novos produtos para os mais diversos tipos de aplicações de solda.

A história da união de metais iniciou há muitos séculos atrás com o primeiro fato ocorrido na Europa datado da idade do bronze e do ferro, onde foi constatado uma soldagem feita na construção de um num pilar com 310 metros de altura, pesando aproximadamente 5,4 toneladas, em Delhi, Índia (WIKIPEDIA, 2005).

Os consumíveis de soldagem de interesse nesse estudo são os eletrodos, os arames tubulares e os fluxos aglomerados. Esses produtos são consumidos nos processos de soldagem como material de adição ou de revestimento. Classicamente a soldagem é considerada como um processo de união, porém, na atualidade, muitos processos de soldagem ou variações deste são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando a recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais (MARQUES, 1991). A figura 3.2 ilustra os consumíveis de interesse nesta pesquisa.



**Figura 3.2 - Consumíveis para soldagem**

### 3.4.2 A Indústria de Consumíveis para Soldagem

No Brasil existem poucos fabricantes de consumíveis de soldagem sendo um mercado bastante fechado com poucas informações disponíveis para consulta e pesquisa. Os fabricantes destes produtos fazem parte do ramo siderúrgico e, para dimensionar o consumo destes produtos, pode-se levar em consideração o consumo aparente dos produtos siderúrgicos.

A siderurgia brasileira registrou, em 2004, o recorde histórico do consumo aparente de produtos siderúrgicos, chegando ao nível de 18,3 milhões de toneladas com um crescimento de 14,8% sobre a marca de 2003. O consumo aparente brasileiro apresentou um crescimento médio de 5,4%, ao ano no período 1990-2004 e a projeção é que ele cresça aproximadamente 3,60% ao ano até 2010 (IBS, 2005).

Os maiores consumidores dos consumíveis de soldagem são os setores de construção naval, ferroviária, agrícola, rodoviária, civil e automobilística.

Estima-se que em 2004 houve um consumo de 84.784 toneladas de consumíveis o que representa um aumento de 10,46% em relação a 2003.

Considerando que 50% da produção brasileira é detida pela ESAB S/A, reconhecida como líder de mercado; considerando os dados do IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia para o consumo aparente de produtos siderúrgicos; considerando os dados de produção de consumíveis para soldagem da ESAB S/A e sua respectiva geração de resíduos; pode-se calcular que a quantidade deste resíduo gerada no país é de aproximadamente 523 toneladas/ano, sendo que uma parte é disposta em aterros industriais e outra é disposta inadequadamente.

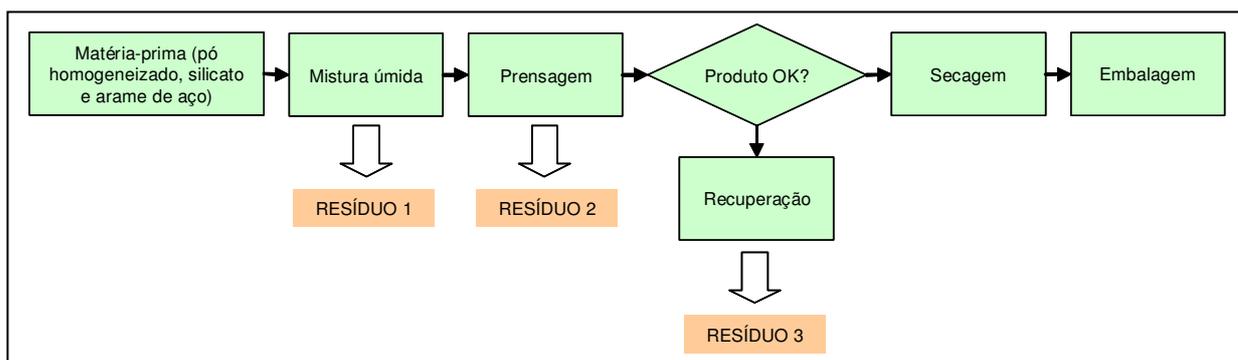
### 3.4.3 Processo de fabricação e identificação dos pontos de geração de resíduos

#### 3.4.3.1 Eletrodos

Os eletrodos são varetas de metal, recobertas por um revestimento duro que é feito de uma mistura homogênea de diversos tipos de pós minerais, orgânicos, silicatos de sódio e potássio. As varetas são arames de aço carbono, aço inoxidável, arames de níquel e ferro-níquel.

O processamento tem início na etapa de Mistura Úmida, que consiste na mistura dos pós homogeneizados com os silicatos de sódio ou potássio, sendo obtida uma massa úmida que é prensada sobre os arames formando então, o revestimento.

Após a prensagem, os eletrodos são secados em fornos e estufas, resfriados ao ar livre e embalados. A figura 3.3 apresenta o fluxograma do processo de fabricação dos Eletrodos.



**Figura 3.3** - Fluxograma do processo de fabricação de eletrodos

Os principais tipos de eletrodos revestidos produzidos atualmente são apresentados na tabela 3.1 e possuem diversas aplicações no mercado como: soldagem de vasos de pressão, estruturas, aplicações nucleares, *off shores*, soldas de tubulações, aços inox, entre outras.

**Tabela 3.1** - Principais tipos de eletrodos revestidos produzidos pela ESAB S/A.

<b>Produto</b>	<b>Tipo de material a ser soldado</b>
Eletrodo revestido	Aços de baixo e médio teor de carbono
	Aços de baixa liga
	Aços inox resistentes aos ácidos e calor
	Revestimentos duros
	Aplicações específicas
	Ferro fundido

A produção média anual de eletrodos revestidos pela ESAB é de aproximadamente 28.400 T/ano.

Neste processo, a geração de resíduos sólidos é proveniente da decantação da água de lavagem dos misturadores na etapa da mistura úmida; do processo de descascamento da “ponta de pega” do eletrodo na prensagem captados pelo sistema de exaustão e a própria casca da ponta; e do setor de recuperação de arames onde a massa dos eletrodos danificados é triturada e destinada como resíduo.

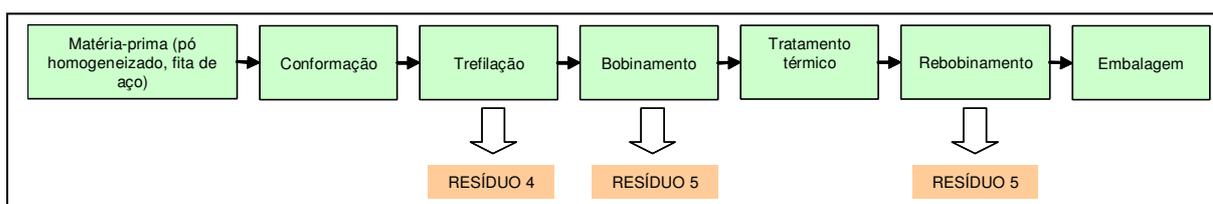
#### 3.4.3.2 Arame Tubular

Os arames tubulares são tubos de aço carbono de 1,20 mm a 3,20 mm de diâmetro, recheados de um pó preparado através da mistura homogênea de diversos tipos de pós minerais e orgânicos. É usado sabão em pó lubrificante como insumo no processo, nas máquinas trefiladoras.

O processo inicia-se com a conformação de uma fita de aço carbono, que passa por um equipamento responsável por sua mudança de formato. De achatada, ela passa a apresentar um formato cilíndrico até transforma-se num tubo. Durante o processo de conformação, a fita recebe um enchimento, que corresponde ao pó homogeneizado, até que ocorre a formação do arame tubular.

Após a formação do arame tubular o mesmo é trefilado até atingir o diâmetro final. Durante o processo, ao passar de uma trefiladeira à outra, o arame atravessa recipientes contendo sabão em pó lubrificante. O arame proveniente das etapas de conformação e trefilação é bobinado e submetido a um tratamento térmico em estufa, para condicionamento do arame e retirada do sabão. Após o resfriamento, ele segue para uma bobinadeira, onde é rebobinado, pesado e embalado.

A figura 3.4 apresenta o fluxograma do processo de fabricação de arames tubulares.



**Figura 3.4** - Fluxograma do processo de fabricação de arames tubulares

Os principais tipos de arames tubulares produzidos atualmente são apresentados na tabela 3.2. Eles possuem diversas aplicações no mercado como soldagem estrutural e construção pesada em geral, fabricação de vasos de pressão, caldeiras e tubulações, soldagem de equipamentos petroquímicos, construções navais, caldeiraria pesada, entre outras.

**Tabela 3.2** - Principais tipos de arames tubulares produzidos pela ESAB S/A.

Produto	Tipo de material a ser soldado
Arames Tubulares	Aços de baixo e médio teor de carbono
	Aços de baixa liga
	Aços inoxidáveis
	Revestimentos duros

A produção média anual de arames tubulares pela ESAB é de aproximadamente 4.800 T/ano.

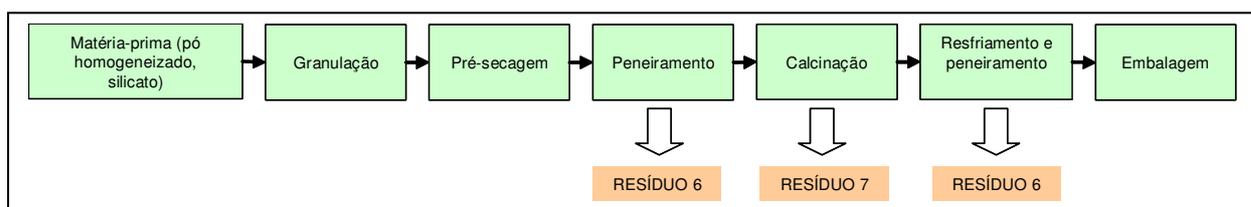
Neste processo, a geração de resíduos sólidos é proveniente da trefilação – sabão lubrificante em pó usado e do sistema de exaustão do processo que está ligado as bobinadeiras.

### 3.4.3.3 Fluxos Aglomerados

Os fluxos aglomerados são grânulos preparados por uma mistura homogeneizada de diversos tipos de pós minerais, orgânicos e silicato de sódio.

O processo de fabricação do fluxo tem início com os materiais sendo colocados em um misturador onde são misturados o pó homogeneizado e silicato de sódio, para a formação de grânulos.

O material na forma de grânulos é recolhido em um prato giratório, de onde segue para uma etapa de pré-secagem em forno rotativo. Depois de reduzida a umidade dos grânulos, os mesmos são enviados para a etapa de peneiramento, armazenados em silos e enviados para a calcinação. Após calcinados, os grânulos são resfriados, peneirados novamente e embalados. A figura 3.5 apresenta o fluxograma do processo de fabricação de fluxos aglomerados.



**Figura 3.5** - Fluxograma do processo de fabricação de fluxos aglomerados

Os principais tipos de fluxos produzidos atualmente são apresentados na tabela 3.3 e possuem diversas aplicações no mercado como soldagem estrutural e revestimento.

**Tabela 3.3** – Principais tipos de fluxos produzidos pela ESAB S/A.

Especificação	Utilização
OK 10.81	Soldagem estrutural sem preparação
OK 10.35	Revestimento duro para recuperação
OK 10.71	Soldagem de alta responsabilidade

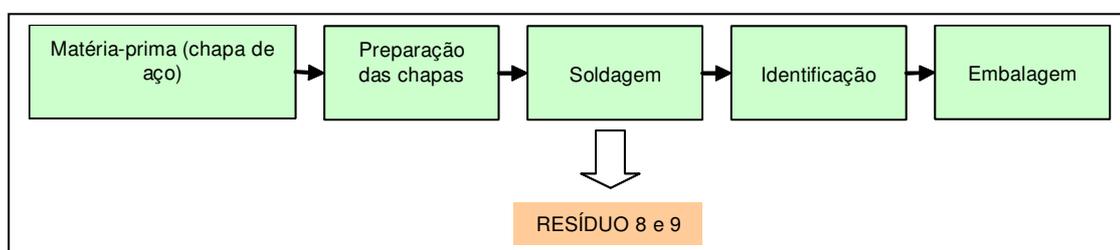
A produção média anual de fluxo pela ESAB é de aproximadamente 4.700 T/ano.

Neste processo, tem-se como resíduo o produto que se mistura durante a troca de produção e o pó coletado pelo sistema de exaustão e filtragem do material particulado gerado durante o peneiramento.

#### 3.4.3.4 Placas Anti-desgaste

A placa anti-desgaste não é um consumível para soldagem, mas consiste numa chapa metálica revestida por material depositado do arame tubular. Ela é usada como revestimento de equipamentos sujeitos a grande abrasão.

Basicamente o processo de produção tem três etapas: preparação das chapas, soldagem e identificação. A figura 3.6 apresenta o fluxograma do processo de fabricação de placas anti-desgaste.



**Figura 3.6** - Fluxograma do processo de fabricação de placas anti-desgaste.

A produção média anual de placas pela ESAB é de aproximadamente 2.000 T/ano que consomem 630T/ano de Arame Tubular.

O principal resíduo gerado neste processo é oriundo do processo de soldagem do arame tubular sobre a chapa metálica, que é captado pelo sistema de exaustão interligado a um filtro onde o pó fica retido, além do resíduo em pó que fica sobre a mesa de soldagem que não consegue ser captado pelo sistema de exaustão.

#### 3.4.3.5 Homogeneização dos pós

O processo de homogeneização dos pós consiste no peneiramento das matérias-primas, pesagem, mistura e ensacamento das porções adequadas para a fabricação dos consumíveis.

O processo de homogeneização dos pós possui um sistema de despoejamento que promove a retenção das partículas em suspensão, reduzindo a geração de emissões de material particulado para a atmosfera, mas ao mesmo tempo promove a geração de resíduos sólidos industriais (RES 11). No processo de peneiramento também são gerados resíduos compostos da matéria-prima que não atendeu à granulometria especificada (RES 10).

### 3.4.3.6 Matérias-primas

As principais matérias-primas e insumos utilizados no processo industrial da ESAB são apresentados na tabela 3.4. Ressalta-se que 90% da matéria-prima se apresentam no estado físico sólido na forma de pó e raramente na forma de pequenas pedras ou escamas e 10% se apresentam sob o estado físico líquido.

**Tabela 3.4** - Principais matérias-primas utilizadas na fabricação de consumíveis de soldagem

Ácido Bórico	Dolomita	Óxido Manganoso
Alginato de Cálcio	Feldspato de Potássio	Paraloid B66
Alumínio Magnésio	Ferro-Boro	Pigmento Amarelo
Areia de Quartzo	Ferro-Cromo	Pigmento Azul
Bauxita Calcinada	Ferro-Manganês	Pigmento Rosa
Bentonita	Ferro-Molibdênio	Pó de Alumínio
Bifluoreto de Potássio	Ferro-Nióbio	Pó de Cobre
Bórax	Ferro-Silício	Pó de Cromo
Calcário	Ferro-Titânio	Pó de Estanho
Cálcio-Silício	Ferro-Tungstênio	Pó de Ferro
Calcita	Ferro-Vanádio	Pó de Ferro-Silício-Magnésio
Carbonato de Potássio	Fluossilicato de Potássio	Pó de Madeira
Carbonato de Bário	Fluorborato de Potássio	Pó de Magnésio
Carbonato de Estrôncio	Fluoreto de Alumínio	Pó de Magnetita
Carbonato de Ferro	Fluoreto de Bário Sinterizado	Pó de Manganês
Carbonato de Lítio	Fluoreto de Lítio	Pó de Mica
Carbonato de Sódio	Fluoreto de Magnésio	Pó de Molibdênio
Carboneto de Cromo	Fluoreto de Sódio	Pó de Níquel
Carboneto de Boro	Fluorita	Pó de Silicato de Sódio
Carboneto de Titânio	Fluossilicato de Potássio	Politetrafluoretileno
Carbureto de Silício	Fluossilicato de Sódio	Polvilho
Carepa	Fonolito	Potássia Cáustica Líquida
Carvão Ativo	Grafite	Rutilo
Caulim	Hematita	Sílica Micronizada
Celulose	Hidróxido de Potássio	Sílica-Quartzo
Chamote	Hidróxido de Sódio	Silicato de Potássio
Cloreto de Lítio	Ilmenita	Silicato de Sódio
Cloreto de Magnésio	Leucóxene	Sulfeto de Ferro
Cloreto de Potássio	Magnesita	Talco
Cloreto de Sódio	Metassilicato de Sódio	Tetraborato de Potássio
CMC	Minério de Manganês	Tetraborato de Sódio
Criolita	Negro de Fumo	Titanato de Bismuto
Pó de Ferro	Óxido de Alumínio Fundido	Titanato de Potássio
Dextrina em pó	Óxido de Cromo	Titanato de Sódio
Diatomita	Óxido de Lítio Aglomerado	Titânio Alumínio
Dicromato de Potássio	Óxido de Ferro Vermelho	Wollastonita
Dióxido de Titânio	Óxido de Magnésio Calcinado	Zirconita

## **3.5 A indústria cerâmica**

### **3.5.1 A cerâmica na história**

A cerâmica é muito antiga, sendo que peças de argila cozida foram encontradas em diversos sítios arqueológicos. No Japão, as peças de cerâmica mais antigas conhecidas por arqueólogos foram encontradas na área ocupada pela cultura Jomon há cerca de 8.000 anos (WIKIPEDIA, 2005).

Antes do final do período Neolítico ou da Pedra Polida que compreendeu aproximadamente de 26.000 a.C. até por volta de 5.000 a.C., a habilidade na manufatura de peças de cerâmica deixou o Japão e se espalhou pela Europa e Ásia não existindo, entretanto, um consenso sobre como isto ocorreu (ANFACER, 2007).

Na China e no Egito, por exemplo, a cerâmica já tem mais de 5.000 anos. Nas tumbas dos faraós do Antigo Egito vários vasos de cerâmica continham vinho, óleos e perfumes para fins religiosos (ANFACER, 2007).

Um dos grandes exemplos da antiga arte cerâmica chinesa está expressa pelos guerreiros de Xian. Trata-se de uma das maiores descobertas arqueológicas que ocorreu naquela província chinesa em 1974. Lá foi encontrado o túmulo do imperador Chi-Huand-di, que nasceu por volta do ano 240 antes de Cristo. Para decorá-lo, foi feita a réplica, em terracota, de um exército de soldados em tamanho natural. Terracota é o termo empregado para a argila modelada e cozida em forno (ANFACER, 2007).

A maioria das culturas, desde seus primórdios, acabou por desenvolver estilos próprios que com o passar do tempo consolidavam tendências e evoluíam no aprimoramento artístico a ponto de poder situar o estado cultural de uma civilização através do estudo dos artefatos cerâmicos que produziam (ANFACER, 2007).

Estudiosos confirmam ser, realmente, a cerâmica a mais antiga das indústrias. Ela nasceu no momento em que o homem começou a utilizar-se do barro endurecido pelo fogo. Esse processo de endurecimento, obtido casualmente, multiplicou-se e evoluiu até os dias de hoje (ANFACER, 2007).

A cerâmica passou a substituir a pedra trabalhada, a madeira e mesmo as vasilhas (utensílios domésticos) feitas de frutos como o choco ou a casca de certas cucurbitáceas (porungas, cabaças e catutos). As primeiras cerâmicas que se tem notícia são da Pré-História: vasos de barro, sem asa, que tinham cor de argila natural ou eram escurecidas por óxidos de ferro (ANFACER, 2007).

A cerâmica para a construção e a cerâmica artística com características industriais só ocorreu na antiguidade em grandes centros comerciais. Mais recentemente iniciou uma vigorosa etapa de evolução, após a Revolução Industrial (ANFACER, 2007).

A cerâmica, tanto de uso comum como artístico, é produzida hoje por toda parte, seja em grandes estabelecimentos ou por pequenos artesãos. Os processos de fabricação podem ser semelhantes mas é inegável que a experiência técnica adquiriu tamanha perfeição que permite resultados extraordinários (ANFACER, 2007).

Atualmente a cerâmica extrapola o dia a dia para auxiliar na área científica: na medicina vem sendo utilizada na prótese de ossos; na pecuária australiana reveste os chips que injetados dentro do animal possibilitam uma contagem mais precisa e segura; na odontologia é usada nas obturações; algumas empresas fabricam facas com lâminas de porcelana; é ainda o material utilizado quando existe a necessidade de um produto resistente a altas temperaturas, como é o caso do trem bala no Japão, onde a cerâmica é colocada nos trilhos (ANFACER, 2007).

### **3.5.2 A indústria cerâmica no Brasil**

A cerâmica tem um papel importante para economia do país com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em 1%, correspondendo a cerca de 6 bilhões de dólares. A abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada. O Brasil é o terceiro produtor mundial, em volume, de materiais cerâmicos de revestimento (pisos e azulejos), exportando cerca de 27,9% da produção em 1996, conforme dados da ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica.

O setor industrial da cerâmica é bastante diversificado e pode ser dividido nos seguintes segmentos: cerâmica vermelha, materiais de revestimento, materiais refratários, louça sanitária, isoladores elétricos de porcelana, louça de mesa, cerâmica artística (decorativa e utilitária), filtros cerâmicos de água para uso doméstico, cerâmica técnica e isolantes térmicos. No Brasil existem todos estes segmentos, em maior ou menor grau de desenvolvimento e capacidade de produção. Além disso, existem fabricantes de matérias-primas sintéticas para cerâmica (alumina calcinada, alumina eletrofundida, carbetos de silício e outras), de vidrados e corantes, gesso, equipamentos e alguns produtos químicos auxiliares.

A evolução da cerâmica no Brasil foi, em certos casos, garantida pela indústria de equipamentos, que tem razoavelmente acompanhado a tendência mundial.

A grande concentração de indústrias de todos os segmentos cerâmicos estão nas regiões sudeste e sul por serem regiões onde existem maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infra-estrutura, melhor distribuição de renda, somadas ainda às facilidades de matérias-primas, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas.

Convém salientar que as outras regiões do país têm apresentado um certo grau de desenvolvimento, principalmente no Nordeste, onde muitas fábricas de diversos setores industriais estão se instalando e onde o setor de turismo tem crescido de maneira acentuada, levando a construção de inúmeros hotéis. Com isto tem aumentado a demanda de materiais cerâmicos, principalmente dos segmentos ligados a construção civil, o que tem levado a implantação de novas fábricas cerâmicas nessa região.

#### Números do setor

O Setor Cerâmico Brasileiro, de um modo geral, apresenta uma deficiência grande em dados estatísticos e indicadores de desempenho. Daí as dificuldades de se ter um panorama mais amplo dessa importante área industrial, com diversos segmentos altamente geradores de empregos e com forte apelo social. Dessa forma, os dados apresentados na tabela 3.5 são referentes a 2003.

**Tabela 3.5 – Números do setor cerâmica vermelha.**

<b>CERÂMICA VERMELHA</b>	
Número de Unidade Produtoras (empresas)	7.000
Número de Peças/Ano (bloco)	25.224.000
Número de Peças/Ano (telha)	4.644.000
Quantidade Produzida (em massa t/ano)	64.164.000
Matéria-Prima (argilas t/ano)	82.260.000
Produção Média por Empresa (peças/mês)	365.000
Faturamento (R\$ bilhões)	4,2
Empregos Diretos	214.000

Fonte: ABCERAM, 2007.

### **3.5.3 Classificação dos materiais cerâmicos**

O setor cerâmico é amplo e heterogêneo o que induz a dividi-lo em sub-setores ou segmentos em função de diversos fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. Dessa forma, a seguinte classificação, em geral, é adotada:

#### Cerâmica vermelha

Compreende aqueles materiais com coloração avermelhada, devido ao óxido de ferro, empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno. As lajotas muitas vezes são enquadradas neste grupo porém o mais correto é em Materiais de Revestimento.

#### Materiais de revestimento (placas cerâmicas)

São aqueles materiais, na forma de placas usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos. Recebem designações tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grês, lajota, piso, etc.

#### Cerâmica branca

Este grupo é bastante diversificado compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor e que eram assim agrupados pela cor branca da massa, necessária por razões estéticas e/ou técnicas. Com o advento dos vidrados opacificados muitos dos produtos enquadrados neste grupo passaram a ser fabricados, sem prejuízo das características para uma dada aplicação, com matérias-

primas com certo grau de impurezas, responsáveis pela coloração. Dessa forma é mais adequado subdividir este grupo em: louça sanitária, louça de mesa, isoladores elétricos para alta e baixa tensão, cerâmica artística (decorativa e utilitária), cerâmica técnica para fins diversos, tais como: químico, elétrico, térmico e mecânico.

### Materiais refratários

Este grupo compreende uma diversidade de produtos que têm como finalidade suportar temperaturas elevadas nas condições específicas de processo e de operação de equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações. Para suportar estas solicitações e em função da natureza das mesmas, foram desenvolvidos inúmeros tipos de produtos a partir de diferentes matérias-primas ou mistura destas. Dessa forma, podemos classificar os produtos refratários quanto a matéria-prima ou componente químico principal em: sílica, sílico-aluminoso, aluminoso, mulita, magnesianocromítico, cromítico-magnésiano, carbetto de silício, grafita, carbono, zircônia, zirconita, espinélio e outros.

### Isolantes térmicos

Os produtos deste segmento podem ser classificados em:

- a) refratários isolantes que se enquadram no segmento de refratários;
- b) isolantes térmicos não refratários, compreendendo produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, silicato de cálcio, lã de vidro e lã de rocha, que são obtidos por processos distintos ao do item a) e que podem ser utilizados, dependendo do tipo de produto até 1100 °C;
- c) fibras ou lãs cerâmicas que apresentam características físicas semelhantes as citadas no item b), porém apresentam composições tais como sílica, sílica-alumina, alumina e zircônia, que dependendo do tipo, podem chegar a temperaturas de utilização de 2000°C ou mais.

### Fritas e corantes

Estes dois produtos são importantes matérias-primas para diversos segmentos cerâmicos que requerem determinados acabamentos. *Frita* (ou vidrado fritado) é um vidro moído, fabricado por indústrias especializadas a partir da fusão da mistura de diferentes matérias-primas. É

aplicado na superfície do corpo cerâmico que, após a queima, adquire aspecto vítreo. Este acabamento tem por finalidade aprimorar a estética, tornar a peça impermeável, aumentar a resistência mecânica e melhorar ou proporcionar outras características.

*Corantes* constituem-se de óxidos puros ou pigmentos inorgânicos sintéticos obtidos a partir da mistura de óxidos ou de seus compostos. Os pigmentos são fabricados por empresas especializadas, inclusive por muitas das que produzem fritas, cuja obtenção envolve a mistura das matérias-primas, calcinação e moagem. Os corantes são adicionados aos esmaltes (vidrados) ou aos corpos cerâmicos para conferir-lhes colorações das mais diversas tonalidades e efeitos especiais.

### Abrasivos

Parte da indústria de abrasivos, por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes aos da cerâmica, constituem-se num segmento cerâmico. Entre os produtos mais conhecidos podemos citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carvão de silício.

### Vidro, cimento e cal

São três importantes segmentos cerâmicos que por suas particularidades são muitas vezes considerados à parte da cerâmica.

### Cerâmica de alta tecnologia/ cerâmica avançada

O aprofundamento dos conhecimentos da ciência dos materiais proporcionaram ao homem o desenvolvimento de novas tecnologias e aprimoramento das existentes nas mais diferentes áreas como aeroespacial, eletrônica, nuclear e muitas outras, e que passaram a exigir materiais com qualidade excepcionalmente elevada. Tais materiais passaram a ser desenvolvidos a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza e por meio de processos rigorosamente controlados. Estes produtos, que podem apresentar os mais diferentes formatos, são fabricados pelo chamado segmento cerâmico de alta tecnologia ou cerâmica avançada. Eles são classificados de acordo com suas funções em: eletroeletrônicos, magnéticos, ópticos, químicos, térmicos, mecânicos, biológicos e nucleares. Os produtos deste segmento são de uso intenso e a cada dia tende a se ampliar. Como alguns exemplos, podemos citar: naves espaciais, satélites, usinas nucleares, materiais para implantes em seres humanos, aparelhos de som e de vídeo, suporte de catalisadores para automóveis, sensores (umidade, gases e outros), ferramentas de corte, brinquedos, acendedor de fogão, etc.

### 3.5.4 Matérias-primas

Existem dois tipos de matérias-primas: as naturais, que são aquelas utilizadas como extraídas da natureza ou que foram submetidas a algum tratamento físico para eliminação de impurezas indesejáveis, sem alterar a composição química e mineralógica dos componentes principais e as sintéticas que são produzidas a partir de algum tipo de industrialização de outros materiais. As principais matérias-primas estão relacionadas na tabela 3.6.

Diferente de outros setores produtivos, o setor cerâmico utiliza-se basicamente de matérias-primas naturais. O seu produto final é basicamente, o resultado da transformação de compostos argilominerais com quartzo, feldspatos, calcário, etc (MODESTO, *et al.*, 2003).

A principal matéria-prima utilizada é a argila. Denomina-se argila ao conjunto de minerais, compostos principalmente de silicatos de alumínio hidratados, que possuem a propriedade de formarem com a água uma pasta plástica suscetível de conservar a massa moldada, secar e endurecer sob a ação do calor (PETRUCCI, 1976).

**Tabela 3.6** – Matérias-primas utilizadas na fabricação de cerâmicas

<b>MATÉRIAS-PRIMAS NATURAIS</b>	
Agalmatolito	Grafita
Andalusita - Cianita	Magnesita
Argila	Materiais Fundentes Diversos
Bauxito	Pirofilita
Calcita	Quartzo
Cromita	Silimanita
Dolomita	Talco
Feldspato	Wollastonita
Filitos cerâmicos	Zirconita
Fonolito	Rochas potássicas
<b>MATÉRIAS-PRIMAS SINTÉTICAS</b>	
Alumina (calcinada, eletrofundida, tabular)	Magnésia
Carbeto de silício	Mulita sintética e Mulita zircônia
Cimento aluminoso	Óxido de zinco
Espinélio	Sílica ativa

Em razão da legislação, as indústrias são responsáveis pelos resíduos que geram. Nesta situação um grande número de estudos tem sido desenvolvidos ao longo do tempo, para o reaproveitamento dos resíduos em outras atividades industriais. Uma parte desses estudos analisa a mistura do resíduo industrial em argilas destinadas a fabricação de Cerâmica Vermelha, incorporando o material ao produto, o que de certa forma dá uma destinação adequada ao resíduo (MARTINS *et al.*, 2005). Resíduos de serragem de granitos, da cinza de

casca de arroz, da lixívia de glicerina e de cinzas de carvão já foram misturados com massas argilosas em porcentagens diversas, visando a obtenção de produtos. Sendo assim, o foco desta pesquisa é incorporar o resíduo de fabricação de consumíveis de soldagem na cerâmica vermelha (tijolos) para uso na construção civil.

### **3.5.5 Processo de fabricação**

Os processos de fabricação empregados pelos diversos segmentos cerâmicos assemelham-se parcial ou totalmente. O setor que mais se diferencia quanto a esse aspecto é o do vidro, embora exista um tipo de refratário (eletrofundido), cuja fabricação se dá através de fusão, ou seja, por processo semelhante ao utilizado para a produção de vidro ou de peças metálicas fundidas. Esses processos de fabricação podem diferir de acordo com o tipo de peça ou material desejado. De um modo geral eles compreendem as etapas de preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento. No processo de fabricação muitos produtos são submetidos a esmaltação e decoração.

#### Preparação da matéria-prima

Grande parte das matérias-primas utilizadas na indústria cerâmica tradicional (tabela 3.6) é natural, encontrando-se em depósitos espalhados na crosta terrestre. Após a mineração, os materiais devem ser beneficiados, isto é, desagregados ou moídos, classificados de acordo com a granulometria e muitas vezes também purificado. O processo de fabricação propriamente dito, tem início somente após essas operações. As matérias-primas sintéticas geralmente são fornecidas prontas para uso, necessitando apenas, em alguns casos, de um ajuste de granulometria.

#### Preparação da massa

Os materiais cerâmicos geralmente são fabricados a partir da composição de duas ou mais matérias-primas, além de aditivos e água ou outro meio. Mesmo no caso da cerâmica vermelha, para a qual se utiliza apenas argila como matéria-prima, dois ou mais tipos de argilas com características diferentes entram na sua composição.

A água tem papel muito importante na tecnologia de fabricação de cerâmica estrutural. A utilização da água como matéria-prima ocorre essencialmente na etapa de preparação da massa e conformação, sendo que a quantidade utilizada varia muito em função da umidade natural das argilas (ALMEIDA, 2005).

Dessa forma, uma das etapas fundamentais do processo de fabricação de produtos cerâmicos é a dosagem das matérias-primas e dos aditivos, que deve seguir com rigor as formulações de massas, previamente estabelecidas. Os diferentes tipos de massas são preparados de acordo com a técnica a ser empregada para dar forma às peças. Para cerâmica vermelha as massas são secas ou semi-secas, na forma granulada, para obtenção de peças por prensagem.

### Formação das peças

Existem diversos processos para dar forma às peças cerâmicas, e a seleção de um deles depende fundamentalmente de fatores econômicos, da geometria e das características do produto. Os métodos mais utilizados compreendem: colagem, prensagem, extrusão e torneamento. Aqui serão descritos apenas os processos de cerâmica vermelha.

### Prensagem

Nesta operação utilizam-se sempre que possível massas granuladas e com baixo teor de umidade. Diversos são os tipos de prensa utilizados como fricção, hidráulica e hidráulica-mecânica, podendo ser de mono ou dupla ação e ainda terem dispositivos de vibração, vácuo e aquecimento.

### Extrusão

A massa é colocada numa extrusora, também conhecida como maromba, onde é compactada e forçada por um pistão ou eixo helicoidal, através de bocal com determinado formato. Como resultado obtém-se uma coluna extrudada, com seção transversal com o formato e dimensões desejados; em seguida, essa coluna é cortada, obtendo-se desse modo peças como tijolos vazados.

A extrusão pode ser uma etapa intermediária do processo de formação, seguindo-se, após corte da coluna extrudada, a prensagem como é o caso para a maioria das telhas.

### Tratamento térmico

O processamento térmico é de fundamental importância para obtenção dos produtos cerâmicos, pois dele dependem o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos. Esse tratamento compreende as etapas de secagem e queima.

## Secagem

A secagem dos tijolos é uma das operações mais importantes e que merece melhor atenção. Deve ser lenta e uniforme, a fim de que a água seja eliminada igualmente de toda a massa e gradativamente, até que uma pequena porcentagem permaneça para manter a coesão da argila e para que o tijolo não se desagregue antes da queima. A operação de secagem deverá retirar unicamente a água agregada ou de amassamento, para evitar tensões e conseqüentemente defeitos nas peças (DURÃES, 1978). A secagem se processa por dois métodos: secagem natural à temperatura ambiente e secagem artificial em secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas variáveis entre 50 °C e 150 °C.

## Queima

Nessa operação, conhecida também por sinterização, os produtos adquirem suas propriedades finais. As peças após secagem são submetidas a um tratamento térmico a temperatura elevadas que para a maioria dos produtos situa-se entre 800 °C a 1700 °C, em fornos contínuos ou intermitentes que operam em três fases:

- aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada;
- patamar durante certo tempo na temperatura especificada;
- resfriamento até temperaturas inferiores a 200 °C.

O ciclo de queima compreendendo as três fases, dependendo do tipo de produto, pode variar de alguns minutos até vários dias. Durante esse tratamento ocorre uma série de transformações em função dos componentes da massa, tais como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem dos grãos. Portanto, em função do tratamento térmico e das características das diferentes matérias-primas são obtidos produtos para as mais diversas aplicações.

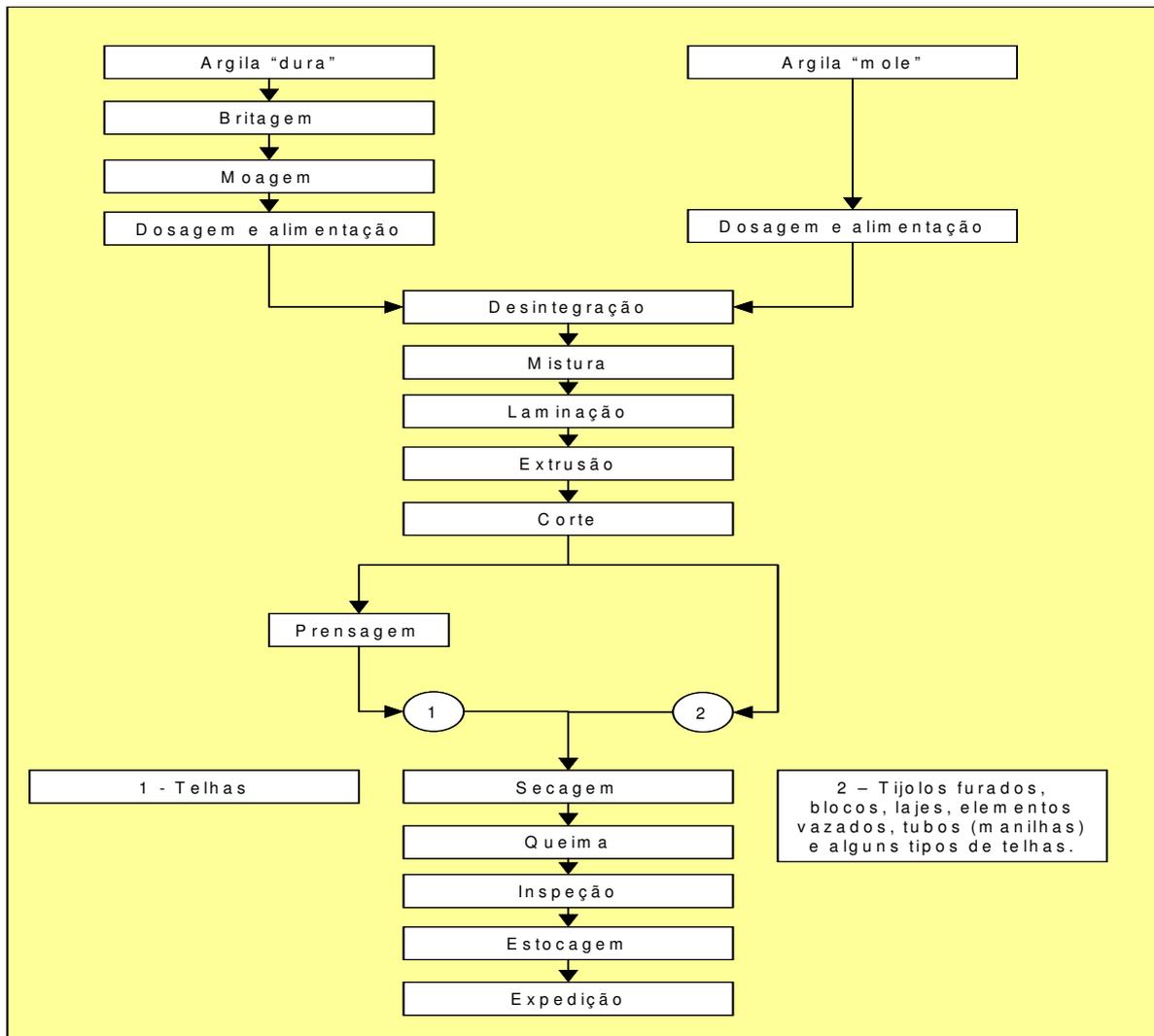
## Acabamento

Normalmente, a maioria dos produtos cerâmicos é retirada dos fornos, inspecionada e remetida ao consumo. Alguns produtos no entanto, requerem processamento adicional para atender a algumas características não possíveis de serem obtidas durante o processo de

fabricação. O processamento pós-queima recebe o nome genérico de acabamento e pode incluir polimento, corte, furação, entre outros.

### Fluxograma

A figura 3.7 ilustra o fluxograma do processo de fabricação de cerâmica vermelha.



**Figura 3.7** - Fluxograma do processo de fabricação de cerâmica vermelha.

Fonte: ABCERAM, 2005.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais, equipamentos e metodologia utilizados na pesquisa experimental de avaliação da utilização dos resíduos do processo de fabricação de consumíveis para soldagem em tijolos de cerâmica vermelha.

A pesquisa foi realizada na fábrica da ESAB S/A, que produz mais de 800 tipos diferentes de consumíveis para soldagem entre eletrodos, arames tubulares e fluxos. Cada um destes produtos atende a uma aplicação específica no mercado sendo que as matérias-primas utilizadas variam conforme o consumível. Cada um destes consumíveis possui uma composição química e uma fórmula característica determinada com base no *know how* da empresa e referenciada nas normas da AWS – American Welding Society.

Este estudo fez-se necessário para a ESAB devido ao volume significativo de resíduos gerados nos seus processos de fabricação, como alternativa para disposição uma vez que a única opção praticada é o co-processamento em fornos de cimento.

Os resíduos, a argila e os corpos de prova foram caracterizados nos aspectos corrosividade, reatividade e toxicidade (parâmetros inorgânicos) e classificados de acordo com a norma ABNT NBR 10004:2004. Os testes de lixiviação e solubilização foram realizados de acordo com as normas ABNT NBR 10005:2004 e 10006:2004 respectivamente.

Todas as análises foram feitas utilizando como referências analíticas o “Standard methods for the examination of water and wastewater” (AWWA-APHA-WPCI) e o “Test methods for evaluating solid waste – Physical/chemical methods” (USEPA-SW 846).

Os ensaios para caracterização e classificação dos resíduos, da argila e dos corpos de prova foram realizados pelo laboratório SGS GEOSOL Laboratórios Ltda.

Este capítulo está subdividido em subitens que correspondem a cada um dos objetivos específicos, a fim de atender ao objetivo geral.

### **4.1 Identificação dos pontos de geração e quantificação dos resíduos**

Para atender a este objetivo a metodologia utilizada foi a realização de visitas constantes à fábrica para o acompanhamento *in loco* dos processos produtivos e posterior avaliação dos

mesmos, além de consultas aos engenheiros especialistas dos Departamentos de Produção, Pesquisa e Desenvolvimento da ESAB S/A, para um aprofundamento no conhecimento das matérias-primas, processos, equipamentos, métodos de produção e produtos.

Os dados de quantificação dos resíduos foram coletados mensalmente pelos Supervisores dos processos durante dois anos, por meio da segregação dos resíduos em big-bags e pesagem dos mesmos em balanças digitais devidamente aferidas, com capacidade para até 10.000kg. Todos estes dados foram compilados em planilhas.

Os resultados estão apresentados no item 5.1.

Para esta pesquisa os resíduos estudados são representativos de um dos principais *mix* de produção da ESAB S/A, cujos produtos correspondem a 80% da produção total da empresa. Este *mix* representativo é composto pelos produtos listados na tabela 4.1, cujas composições químicas estão definidas na tabela 4.2.

**Tabela 4.1** – Produtos do principal *mix* de produção

Consumível	Classificação AWS ou ESAB	Fonte
Eletrodo	E 7018	AWS SFA 5.1
	E 309 L 17	AWS SFA 5.4
	E 312 – 17	AWS SFA 5.4
Arame Tubular	E 71 T 9 M	AWS SFA 5.20
	AN 4604	ESAB
Fluxo	OK FLUX 10.81W	ESAB
	OK FLUX 10.92B	ESAB

**Tabela 4.2** – Composição química típica dos produtos

Consumível	% C	% Cr	% Ni	% Mo (máx.)	% Mn	% Si	% P (máx.)	% S (máx.)	% Cu	% V (máx.)
E 7018	0,15 máx.	0,20 máx.	0,30 máx.	0,30	1,60 máx.	0,75 máx.	0,035	0,035	-	0,08
E 309 L 17	0,04 máx.	22,0 - 25,0	12,0 - 14,0	0,75	0,50 - 2,50	0,90 máx.	0,04	0,03	0,75 máx.	-
E 312 – 17	0,15 máx.	28,0 - 32,0	8,0 - 10,5	0,75	0,50 - 2,50	0,90 máx.	0,04	0,03	0,75 máx.	-
E 71 T 9 M	0,12 máx.	0,20 máx.	0,50 máx.	0,30	1,75 máx.	0,90 máx.	0,03	0,03	0,35 máx.	0,08
AN 4604	4,0 – 5,5	26,0 - 30,0	-	-	2,0 máx.	2,00 máx.	-	0,03	-	-
OK FLUX 10.81W	0,12 máx.	0,30 - 0,60	0,3 - 0,6	-	1,0 - 1,6	0,60 - 1,10	0,035	0,035	0,30 - 0,60	-
OK FLUX 10.92B	0,03 máx.	19,0 - 22,0	9,0 - 11,0	0,75	1,0 - 2,5	1,0 máx.	0,30	0,30	0,75	-

Como existem aproximadamente 485 tipos de eletrodos, 200 tipos de arames tubulares e 150 tipos de fluxos que são produzidos em frequências e quantidades diferentes dependendo da demanda do mercado, pode haver uma variação na quantidade dos elementos que caracterizam os resíduos, ou seja, para outros *mix* de produção a composição química dos resíduos pode variar.

## **4.2 Caracterização química e classificação dos resíduos do processo de fabricação de consumíveis para soldagem**

A caracterização dos resíduos iniciou com um entendimento do processo industrial de geração dos mesmos. Obteve-se o máximo de informações possíveis através de um estudo detalhado dos fluxos dos processos de fabricação, identificando todas as entradas (insumos, matérias-primas) e saídas dos processos (produtos, resíduos, etc.). Diagramas de fluxo foram usados para identificar etapas importantes dos processos e locais de geração dos resíduos.

O conhecimento do processo permite que sejam eliminadas análises redundantes ou desnecessárias ajudando a focar quais elementos devem ser mensurados nos resíduos (U.S. EPA, 2205).

### **4.2.1 Amostragem**

O objetivo da amostragem é coletar uma quantidade representativa de resíduo, visando classificar e determinar suas características para escolher métodos de tratamento. As amostragens foram realizadas conforme a norma ABNT NBR 10007:2004. A coleta das amostras foi realizada da forma mais representativa possível.

Cada resíduo foi coletado diretamente na fonte geradora e imediatamente no momento de sua geração para evitar segregação de partículas. A coleta ocorreu com auxílio de pás de polietileno e em alguns casos foi utilizada a ferramenta “Boca de Lobo”. Foi retirada uma amostra representativa de aproximadamente três quilogramas de cada tipo de resíduo. Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e posteriormente armazenadas em câmara fria (-2°C) por três dias até que os ensaios fossem iniciados. Foram retiradas 11 amostras ao todo.

Para o Resíduo 1 o procedimento utilizado foi o de quarteamento (divisão do resíduo em quatro partes iguais). Foram tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova

amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas foram misturadas e o processo de quarteamento foi repetido até obtenção da quantidade necessária. A figura 4.1 ilustra a coleta do resíduo 1.



**Figura 4.1 - Coleta do resíduo 1**

Para os demais resíduos as amostras foram retiradas pela parte superior dos sacos de armazenamento (big-bas) conforme ilustrado na figura 4.2.



**Figura 4.2 – Coleta de resíduos**

#### **4.2.2 Ensaio de solubilização**

Os ensaios de solubilização foram realizados conforme metodologia definida na norma ABNT NBR 10006:2004. As amostras foram pesadas em balança digital antes da secagem e posterior

a esta, para a determinação do percentual de umidade. As amostras permaneceram por uma hora em estufa, a temperatura de  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Cada amostra foi acondicionada em frascos individuais de polietileno, devidamente identificados e limpos contendo 4000 mL de água deionizada cada um. Os frascos foram colocados num aparelho de rotação constante ( $32\pm 2$  rpm) e agitados durante cinco minutos. Depois permaneceram em repouso por sete dias em temperatura ambiente ( $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). Após este período as soluções foram filtradas em membrana de  $0,45\mu\text{m}$  de porosidade. Para cada extrato solubilizado foi medido o pH, através de peagômetro, para determinação do tipo de solução a ser usada no ensaio de lixiviação.

#### **4.2.3 Ensaio de lixiviação**

Os ensaios de lixiviação foram realizados conforme metodologia definida na norma ABNT NBR 10005:2004. Foram determinadas as soluções de extração e somente os resíduos 8 e 9 usaram a solução n°. 1. O restante usou a solução n°. 2. Como os resíduos possuem um percentual de sólidos que variam de 85 a 100%, o procedimento utilizado para o ensaio de lixiviação foi o procedimento determinado pela norma para resíduos contendo teor de sólidos igual a 100% para não voláteis.

Os resultados de caracterização e classificação dos resíduos estão representados no item 5.2.

### **4.3 Caracterização química e classificação da argila usada na preparação dos corpos de prova**

A argila utilizada na preparação dos corpos de prova foi proveniente de uma jazida na cidade de Pedro Leopoldo – MG.

Esses tipos de argilas para cerâmica vermelha ou estrutural são os que tem sido mais ensaiados tecnologicamente no Brasil devido ao grande crescimento da construção civil em todo o país, muito embora sejam poucos os estudos sobre sua composição mineralógica. As argilas utilizadas para tijolos e telhas são geralmente argilas recentes (quaternárias) e, às vezes, terciárias, de margens de rios, lagos ou várzeas, ricas em ferro e álcalis, de granulometria fina e contendo teor apreciável de matéria orgânica, fatores responsáveis pela elevada plasticidade deste material. A composição mineralógica destas argilas é uma mistura

de caulinita com illita ou montmorilonita ou esses minerais em camadas mistas, além de teor apreciável de ferro na forma de hidróxidos férricos (SANTOS, 1975).

Para a sua caracterização foram realizados ensaios de fluorescência (análise química) e difração (análise mineralógica) de raios-x, além de ensaios de lixiviação e solubilização realizados de acordo com as normas ABNT NBR 10005:2004 e 10006:2004. A argila foi classificada de acordo com a norma ABNT NBR 10004:2004.

A Fluorescência de Raios-x é uma técnica adequada para análise de elementos químicos metálicos ou não metálicos, que utiliza sinais de raio-x para excitar uma amostra, fazendo com que os elementos individuais presentes na amostra emitam seus raios-x característicos (fluorescentes).

A Difração de Raios-x é uma técnica que corresponde à cristalinidade da substância, permitindo a identificação de materiais quanto às suas características cristalinas. Os raios-x são radiações eletromagnéticas com comprimentos de onda entre 103 a 105 Å, podendo ser polarizados, refletidos e difratados (GIFFONI, 2004).

Os resultados encontram-se no item 5.3.

#### ***4.4 Avaliação em escala laboratorial do uso do resíduo na incorporação em corpos cerâmicos***

Esta etapa do trabalho foi subdividida em três fases para melhor atender ao planejamento do ensaio experimental. A primeira fase foi a realização de uma mistura única dos resíduos e sua caracterização qualitativa; a segunda fase foi de preparação dos corpos de prova; e a terceira fase foi de definição sobre quais ensaios físicos seriam feitos para analisar se os corpos de prova atendiam as especificações para tijolos de cerâmica vermelha.

##### **4.4.1 Resíduo composto**

Como os resíduos são bastante semelhantes foi feita uma mistura composta de cada um deles com peso total de 5kg para preparar uma matéria-prima única, ou seja, um resíduo único.

A quantidade de cada resíduo nesta mistura foi proporcional ao volume total de resíduo gerado nos processos de fabricação de cada tipo de consumível no dia da coleta, conforme mostrado na tabela 4.3.

**Tabela 4.3** – Quantidade de resíduo utilizado na preparação do resíduo composto

<b>Processo</b>	<b>Quantidade de resíduo utilizado na mistura (kg)</b>
Fabricação de Eletrodo	2,4
Fabricação de Arame Tubular	0,1
Fabricação de Fluxo	1,0
Fabricação de Placa	0,9
Homogeneização da matéria-prima	0,6
<b>TOTAL</b>	<b>5,0</b>

Após homogeneização, a mistura passou por um processo de quarteamento até obtenção da quantidade necessária para a preparação dos corpos de prova. A amostra preparada do resíduo composto foi homogeneizada por 2 horas em equipamento do tipo gira-potes e logo em seguida foi desidratado em estufa durante 24 horas à temperatura de  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  e reservada para a preparação dos corpos de prova.

Para se ter uma idéia dos principais compostos presentes neste resíduo, o mesmo sofreu quarteamento e cominuição em gral de ágata até atingir granulometria abaixo de 400 mesh ( $37\ \mu\text{m}$ ). Esta amostra foi submetida à análise por difração e fluorescência de raios-x no laboratório do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG. Os resultados estão no item 5.4.1.

#### **4.4.2 Preparação dos corpos de prova**

Antes da preparação dos corpos de prova, a argila utilizada como matéria-prima (referenciada no item 4.3), passou por um processo de secagem em estufa na temperatura de  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Após a secagem, a argila foi triturada com auxílio de um soquete manual e peneirada na malha 200 mesh. A quantidade retida na malha foi novamente triturada, peneirada e agregada com o restante. A figura 4.3 ilustra a preparação da argila.



**Figura 4.3** – Preparação da argila para utilização nos corpos de prova

Os corpos de prova foram preparados em triplicata no Laboratório de Geotecnia da UFMG. Foi feita uma massa de argila agregada com o resíduo único, na proporção de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de resíduo.

A massa para moldagem foi umedecida com 30% de água comum colhida na torneira do laboratório. A umidade do material para prensagem foi acertada por tentativa com base em experimentos semelhantes, até se obter um corpo de prova que fosse extraído facilmente do molde e manuseável sem se deformar, ou seja, que apresentasse uma plasticidade ideal.

A plasticidade é a propriedade segundo a qual o corpo se deforma sob a ação de uma força e conserva a deformação após cessada essa ação. O estado plástico é intermediário entre os estados líquido e sólido. Quanto mais água, até certo ponto, maior a plasticidade. A partir desse ponto, a argila se torna um líquido viscoso (SILVA, 1991).

As composições dos corpos de prova foram as seguintes (tabela 4.4):

**Tabela 4.4** – Formulação dos corpos de prova

Percentual de resíduo (%)	Argila (g)	Resíduo (g)	Água (ml)
0	300	0	90
5	285	15	90
10	270	30	90
15	255	45	90
20	240	60	90

Os corpos de prova foram moldados em formas de aço carbono de formato cilíndrico nas dimensões de 9,1 cm de altura, 5,1 cm de diâmetro interno, 7,6 cm de diâmetro externo com auxílio de um êmbolo de 19,5 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro, para compressão da massa nas fôrmas. A fim de padronizar a compactação, foram dados 30 golpes com o êmbolo para evitar vazios que poderiam resultar em trincas após a secagem. Os corpos de prova foram desenformados com auxílio do mesmo êmbolo e identificados conforme o percentual de resíduo presente.

Após desenformados, os corpos de prova foram secos à temperatura ambiente por 24 horas e depois em estufa por mais 24 horas a temperatura de  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente foram queimados em mufla, no Laboratório de Aulas Práticas do Departamento de Engenharia Sanitária – UFMG, com patamares de temperatura baseados nos perfis térmicos dos fornos tradicionalmente utilizados nas indústrias de tijolos, da seguinte forma:

Os corpos de prova foram colocados na mufla previamente aquecida a  $200^{\circ}\text{C}$  permanecendo por 30 minutos. Após esse período aumentou-se a temperatura da seguinte forma:

- Para  $400^{\circ}\text{C}$  com permanência de mais 30 minutos

- para  $600^{\circ}\text{C}$  com permanência de mais 30 minutos

- para  $900^{\circ}\text{C}$  com permanência de duas horas.

Após este período os corpos de prova foram retirados da mufla para resfriamento natural por aproximadamente 24 horas.

#### **4.4.3 Ensaios físicos para análise dos corpos de prova**

Após a queima, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios físicos abaixo definidos para verificar se os mesmos atendiam as especificações para tijolos de cerâmica vermelha.

##### **4.4.3.1 Cor após queima**

Após a queima foram verificadas visualmente as cores dos corpos de prova, os resultados estão no item 5.4.2.1.

#### 4.4.3.2 Absorção de água

A absorção de água do material cerâmico queimado é um parâmetro utilizado para medir a porosidade aberta e avaliar a fundência do material. A absorção da água é definida como o ganho em peso, expresso em porcentagem, que a peça apresenta quando introduzida em água durante um período de tempo determinado (CASAGRANDE, 2002).

Segundo Chih-Huang Weng *et al.*, (2003), a absorção de água é um fator chave no efeito da durabilidade do tijolo. A menor infiltração de água nos mesmos, determina maior durabilidade e resistência ao ambiente natural ao qual o material é exposto. Assim, a estrutura interna do tijolo precisa ter uma superfície capaz de evitar a entrada de água.

O ensaio de absorção de água foi realizado com base na norma ABNT NBR 7171:1992. A absorção de água é o quociente da massa de água absorvida pelo corpo de prova saturado em água, pela massa do corpo de prova seco, definido pela seguinte equação 4.1:

$$AA(\%) = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100 \quad (4.1)$$

Na qual:

AA = absorção de água (%)

Mh = massa saturada (g)

Ms = massa seca (g)

Os corpos de prova permaneceram mergulhados em água potável durante 24h.

Os resultados estão no item 5.4.2.2.

#### 4.4.3.3 Resistência à compressão

A resistência de um material depende de sua capacidade de suportar carga sem deformação excessiva ou ruptura. Essa propriedade é inerente ao próprio material e deve ser determinada por experimento. Um dos testes mais importantes a realizar nesse sentido é o teste de compressão. Embora muitas propriedades mecânicas importantes de um material possam ser determinadas por meio deste teste, ele é usado principalmente para determinar a relação entre

a tensão normal média e a deformação normal média em muitos materiais de engenharia, tais como metais, cerâmicas, polímeros e materiais compostos (HIBBELER, 2004).

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFMG na máquina de tração/compressão Losenhausenwerk e tiveram como referência a norma ABNT NBR 6461:1983.

A figura 4.4 ilustra o ensaio de compressão em um corpo de prova.



**Figura 4.4** - Ensaio de compressão em corpo de prova.

Os resultados estão no item 5.4.2.3.

#### **4.5 Avaliação do produto final**

Após os ensaios de resistência a compressão, os destroços de cada corpos de prova foram acondicionados em sacos plásticos devidamente identificados e enviados ao laboratório SGS GEOSOL Laboratórios Ltda, para realização das análises. Os testes de lixiviação e solubilização foram realizados de acordo com as normas ABNT NBR 10005:2004 e 10006:2004 respectivamente.

Os parâmetros escolhidos para a análise no extrato de lixiviação e solubilização foram os inorgânicos conforme anexos F e G da norma ABNT NBR 10004:2004, como listados na tabela 4.5.

**Tabela 4.5** – Parâmetros de análise escolhidos para a avaliação do produto final

<b>Ensaio</b>	<b>Parâmetros</b>
Lixiviação	Arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, fluoretos, mercúrio, prata e selênio.
Solubilização	Arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto, cromo total, fenóis totais, fluoretos, mercúrio, nitrato, prata, selênio, alumínio, cloreto, cobre, ferro, manganês, sódio, surfactantes, sulfato e zinco.

Para o ensaio de solubilização houve a necessidade de triturar as amostras para passarem livremente pela peneira de malha 9,5mm.

Os resultados de caracterização e classificação dos CP's estão representados no item 5.5.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Identificação dos pontos de geração e quantificação dos resíduos gerados

A tabela 5.1 relaciona o tipo de consumível, a fase do processo produtivo em que o resíduo é gerado e o tipo de resíduo identificado.

**Tabela 5.1** – Resíduos gerados por tipo de consumível e respectivas fases do processo

Tipo de Consumível	Fase do Processo	Resíduo	Sigla
Eletrodo	Mistura úmida	Resíduo pastoso (lama) resultante da lavagem dos misturadores.	RES 01
	Prensagem	Resíduo seco em pó, resultante do processo de descascamento da “ponta de pega” do eletrodo.	RES 02
	Recuperação	Resíduo seco em pó, ou pequenas escamas, proveniente do processo de retirada do revestimento do eletrodo para recuperação do arame.	RES 03
Arame Tubular	Trefilação	Resíduo de sabão em pó lubrificante	RES 04
	Bobinamento e rebobinamento	Resíduo em pó captado pelo sistema de exaustão e retido nos filtros de manga.	RES 05
Fluxos	Peneiramento	Resíduo em pó resultante do sistema de peneiramento	RES 06
	Calcinação	Resíduo em pó resultante da mistura de produtos diferentes dentro do forno durante a troca de produção.	RES 07
Placas Anti-desgaste	Soldagem	Resíduo em pó resultante do processo de soldagem do arame tubular (fumos) captado pelo sistema de exaustão e retido no filtro de mangas.	RES 08
		Resíduo em pó grosso que fica na mesa de solda, resultante do processo de soldagem.	RES 09
(Preparação das matérias-primas: aplicável a todos os consumíveis)	- Homogeneização	Resíduo em pó resultante de matérias-primas não conformes à especificação de granulometria.	RES 10
	- Peneiramento e pesagem		
	- Despoeiramento	Resíduo em pó captado pelo sistema de despoeiramento ao longo de todo o processo e que fica retido no filtro de mangas.	RES 11

Na tabela 5.2 mostra-se a quantidade de resíduo gerado por processo no dia em que foi feita a coleta das amostras.

**Tabela 5.2** – Quantidade de resíduos gerados por processo no dia da coleta

Processo	Resíduo gerado (kg)
Fabricação de Eletrodo	489,5
Fabricação de Arame Tubular	23,7
Fabricação de Fluxo	212,2
Fabricação de Placa	174,3
Homogeneização da matéria-prima	111,3
<b>TOTAL</b>	<b>1.011,0</b>

A tabela 5.3 relaciona o tipo de consumível e a respectiva quantidade média gerada por ano.

**Tabela 5.3** - Quantidade média de resíduo gerado por ano

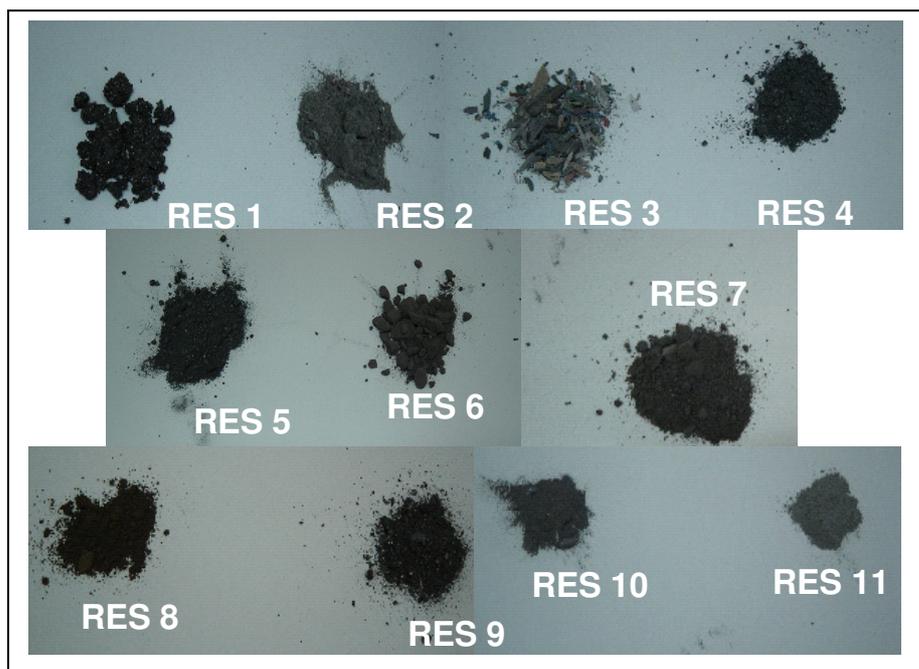
<b>Resíduo</b>	<b>Quantidade (kg/ano)</b>
RES 01	18.861
RES 02	113.997
RES 03	48.856
RES 04	3.230
RES 05	5.577
RES 06	57.515
RES 07	21.262
RES 08	31.162
RES 09	33.542
RES 10	29.643
RES 11	11.681
<b>Total Geral</b>	<b>375.326</b>

Pode-se perceber pela tabela 5.3 que o volume de resíduo gerado por ano pela ESAB S/A é bastante significativo fazendo com que a empresa, seguindo uma das diretrizes de sua Política Ambiental de prevenir e minimizar a poluição, pesquise uma disposição mais adequada para o mesmo.

## ***5.2 Caracterização química e classificação dos resíduos do processo de fabricação de consumíveis para soldagem***

Todos os resíduos identificados estavam sob a forma sólida em pó, na cor cinza escuro e não apresentam cheiro. Somente o Resíduo 1 foi encontrado na forma de lama.

Na figura 5.1 mostra-se todos os resíduos identificados.



**Figura 5.1 - Resíduos identificados**

Os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização de cada tipo de resíduo estão apresentados nas tabelas de 5.4 a 5.19 a seguir. Os parâmetros assinalados em negrito indicam que estão acima do limite máximo permitido na norma ABNT NBR 10004:2004.

### 5.2.1 Resíduo 1 – RES 1

**Tabela 5.4 – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 1 (RES 1) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004**

<b>Parâmetro</b>	<b>Código de identificação</b>	<b>Limite máximo permitido (mg/L)</b>	<b>Concentração no lixiviado (mg/L)</b>
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	6,66
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
Cromo total	D009	5,0	< 0,01
Fluoretos	D010	150,0	5,60
Mercurio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	0,10
Selênio	D013	1,0	< 0,01

**Tabela 5.5** – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 1 (RES 1) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
Arsênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Bário (mg/L)	0,7	0,378	0,380
Cádmio (mg/L)	0,005	< 0,001	< 0,001
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,01	< 0,01
Cromo total (mg/L)	0,05	0,02	0,02
Fenóis totais (mg/L)	0,01	<0,001	<0,001
<b>Fluoretos (mg/L)</b>	<b>1,5</b>	<b>27</b>	<b>26</b>
Mercúrio (mg/L)	0,001	< 0,0002	< 0,0002
Nitrato (mg N/L)	10,0	< 0,05	< 0,05
Prata (mg/L)	0,05	<0,01	<0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Alumínio (mg/L)	0,2	0,14	0,12
Cloreto (mg/L)	250,0	13	13
Cobre (mg/L)	2,0	0,03	0,02
Ferro (mg/L)	0,3	< 0,05	< 0,05
<b>Manganês (mg/L)</b>	<b>0,1</b>	<b>0,66</b>	<b>0,65</b>
Sódio (mg/L)	200,0	41,9	43,4
Surfactantes (mg/L de MBAS)	0,5	0,25	0,28
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	3,87	4,06
Zinco (mg/L)	5,0	<0,01	<0,01

O resíduo RES 1 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não tóxico** por não apresentar nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 1 foi classificado como: **Classe II A - Não Perigoso** por não apresentar nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inerte** por apresentar teor de fluoretos e manganês na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

### 5.2.2 Resíduo 2 – RES 2

**Tabela 5.6** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 2 (RES 2) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	7,86
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
<b>Cromo total</b>	<b>D009</b>	<b>5,0</b>	<b>28,6</b>
Fluoretos	D010	150,0	12,0
Mercúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	< 0,01
Selênio	D013	1,0	< 0,01

O resíduo RES 2 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Tóxico** por apresentar cromo total, no ensaio de lixiviação, em concentração superior ao valor especificado no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 2 foi classificado como: **Classe I - Perigoso** por apresentar cromo total acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação, código D009.

### 5.2.3 Resíduo 3 – RES 3

**Tabela 5.7** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 3 (RES 3) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
<b>Bário</b>	<b>D006</b>	<b>70,0</b>	<b>200</b>
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
Cromo total	D009	5,0	1,18
Fluoretos	D010	150,0	20,0
Mercúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	0,08
Selênio	D013	1,0	< 0,01

O resíduo RES 3 foi caracterizado como:

**Não é corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da Norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não é reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Tóxico** por apresentar bário, no ensaio de lixiviação, em concentração superior ao valor especificado no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 3 foi classificado como: **Classe I - Perigoso** por apresentar bário acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação, código D006.

#### 5.2.4 Resíduo 4 – RES 4

**Tabela 5.8** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 4 (RES4) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
<b>Bário</b>	<b>D006</b>	<b>70,0</b>	<b>86,6</b>
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
Cromo total	D009	5,0	< 0,01
Fluoretos	D010	150,0	19,0
Mercúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	0,05
Selênio	D013	1,0	< 0,01

O resíduo RES 4 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004/2004.

**Tóxico** por apresentar bário, no ensaio de lixiviação, em concentração superior ao valor especificado no anexo F da norma ABNT NBR 10004/2004.

Portanto o RES 4 foi classificado como: **Classe I - Perigoso** por apresentar bário acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação, código D006.

### 5.2.5 Resíduo 5 – RES 5

**Tabela 5.9** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 5 (RES 5) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	27,6
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
Cromo total	D009	5,0	0,04
Fluoretos	D010	150,0	14,0
Mercúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	0,06
Selênio	D013	1,0	< 0,01

**Tabela 5.10** – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 5 (RES 5) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
Arsênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Bário (mg/L)	0,7	0,372	0,388
Cádmio (mg/L)	0,005	< 0,001	< 0,001
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,01	< 0,01
<b>Cromo total (mg/L)</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,10</b>
<b>Fenóis totais (mg/L)</b>	<b>0,01</b>	<b>0,014</b>	<b>0,012</b>
<b>Fluoretos (mg/L)</b>	<b>1,5</b>	<b>280</b>	<b>250</b>
Mercúrio (mg/L)	0,001	< 0,0002	< 0,0002
<b>Nitrato (mg N/L)</b>	<b>10,0</b>	<b>15,1</b>	<b>14,7</b>
Prata (mg/L)	0,05	<0,01	<0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,2</b>	<b>202</b>	<b>195</b>
Cloreto (mg/L)	250,0	< 2,0	< 2,0
Cobre (mg/L)	2,0	0,07	0,08
<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>0,3</b>	<b>40,2</b>	<b>37,7</b>
Manganês (mg/L)	0,1	0,07	0,07
<b>Sódio (mg/L)</b>	<b>200,0</b>	<b>2015</b>	<b>1965</b>
<b>Surfactantes (mg/L de MBAS)</b>	<b>0,5</b>	<b>0,77</b>	<b>0,75</b>
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	47,8	38,4
Zinco (mg/L)	5,0	0,28	0,32

O resíduo RES 5 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não tóxico** por não apresentar nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 5 foi classificado como: **Classe II A - Não Perigoso** por não apresentar nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inerte** por apresentar teor de cromo total, fenóis, fluoretos, nitrato, alumínio, ferro, sódio e surfactantes na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

#### 5.2.6 Resíduo 6 – RES 6

**Tabela 5.11** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 6 (RES 6) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

<b>Parâmetro</b>	<b>Código de identificação</b>	<b>Limite máximo permitido (mg/L)</b>	<b>Concentração no lixiviado (mg/L)</b>
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	41,3
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
Cromo total	D009	5,0	< 0,01
Fluoretos	D010	150,0	8,0
Merúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	0,02
Selênio	D013	1,0	< 0,01

**Tabela 5.12** – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 6 (RES 6) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
<b>Arsênio (mg/L)</b>	<b>0,01</b>	<b>0,34</b>	<b>0,38</b>
Bário (mg/L)	0,7	0,393	0,440
Cádmio (mg/L)	0,005	< 0,001	< 0,001
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,01	< 0,01
<b>Cromo total (mg/L)</b>	<b>0,05</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>
Fenóis totais (mg/L)	0,01	< 0,001	< 0,001
<b>Fluoretos (mg/L)</b>	<b>1,5</b>	<b>50</b>	<b>52</b>
<b>Mercurio (mg/L)</b>	<b>0,001</b>	<b>0,0018</b>	<b>0,0017</b>
Nitrato (mg N/L)	10,0	< 0,05	< 0,05
Prata (mg/L)	0,05	<0,01	<0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,2</b>	<b>3,52</b>	<b>3,41</b>
Cloreto (mg/L)	250,0	26	32
Cobre (mg/L)	2,0	0,03	0,03
<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>0,3</b>	<b>2,9</b>	<b>2,59</b>
<b>Manganês (mg/L)</b>	<b>0,1</b>	<b>3,39</b>	<b>3,11</b>
<b>Sódio (mg/L)</b>	<b>200,0</b>	<b>1972</b>	<b>1901</b>
Surfactantes (mg/L de MBAS)	0,5	< 0,10	< 0,10
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	24,6	20,4
Zinco (mg/L)	5,0	0,13	0,14

O resíduo RES 6 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não tóxico** por não apresentar nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 6 foi classificado como: **Classe II A - Não Perigoso** por não apresentar nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inerte** por apresentar teor de arsênio, cromo total, fluoretos, mercúrio, alumínio, ferro, manganês e sódio na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

### 5.1.7 Resíduo 7 – RES 7

**Tabela 5.13** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 7 (RES 7) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	39,1
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
Cromo total	D009	5,0	< 0,01
Fluoretos	D010	150,0	8,0
Mercúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	0,02
Selênio	D013	1,0	< 0,01

**Tabela 5.14** – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 7 (RES 7) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
<b>Arsênio (mg/L)</b>	<b>0,01</b>	<b>0,16</b>	<b>0,21</b>
<b>Bário (mg/L)</b>	<b>0,7</b>	<b>1,01</b>	<b>1,06</b>
Cádmio (mg/L)	0,005	< 0,001	< 0,001
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,01	< 0,01
<b>Cromo total (mg/L)</b>	<b>0,05</b>	<b>1,73</b>	<b>1,84</b>
Fenóis totais (mg/L)	0,01	< 0,001	< 0,001
<b>Fluoretos (mg/L)</b>	<b>1,5</b>	<b>23</b>	<b>22</b>
Mercúrio (mg/L)	0,001	0,0015	0,0015
Nitrato (mg N/L)	10,0	< 0,05	< 0,05
Prata (mg/L)	0,05	< 0,01	< 0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,2</b>	<b>5,78</b>	<b>5,67</b>
Cloreto (mg/L)	250,0	32	38
Cobre (mg/L)	2,0	0,38	0,32
<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>0,3</b>	<b>1,75</b>	<b>1,94</b>
<b>Manganês (mg/L)</b>	<b>0,1</b>	<b>7,90</b>	<b>8,43</b>
<b>Sódio (mg/L)</b>	<b>200,0</b>	<b>1019</b>	<b>1195</b>
Surfactantes (mg/L de MBAS)	0,5	< 0,10	< 0,10
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	37,9	34,0
Zinco (mg/L)	5,0	0,08	0,08

O resíduo RES 7 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não tóxico** por não apresentar nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 7 foi classificado como: **Classe II A - Não Perigoso** por não apresentar nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inerte** por apresentar teor de arsênio, bário, cromo total, fluoretos, alumínio, ferro, manganês e sódio na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

### 5.1.8 Resíduo 8 – RES 8

**Tabela 5.15** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 8 (RES 8) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	1,09
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
<b>Cromo total</b>	<b>D009</b>	<b>5,0</b>	<b>467</b>
Fluoretos	D010	150,0	2,90
Mercúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	< 0,01
Selênio	D013	1,0	< 0,01

O resíduo RES 8 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Tóxico** por apresentar cromo total, no ensaio de lixiviação, em concentração superior ao valor especificado no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 8 foi classificado como: **Classe I - Perigoso** por apresentar cromo total acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação, código D009.

### 5.1.9 Resíduo 9 – RES 9

**Tabela 5.16** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 9 (RES 9) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	1,09
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
<b>Cromo total</b>	<b>D009</b>	<b>5,0</b>	<b>467</b>
Fluoretos	D010	150,0	2,90
Mercúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	< 0,01
Selênio	D013	1,0	< 0,01

O resíduo RES 9 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Tóxico** por apresentar cromo total, no ensaio de lixiviação, em concentração superior ao valor especificado no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 9 foi classificado como: **Classe I - Perigoso** por apresentar cromo total acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação, código D009.

### 5.1.10 Resíduo 10 – RES 10

**Tabela 5.17** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 10 (RES 10) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	54,5
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
Cromo total	D009	5,0	0,88
Fluoretos	D010	150,0	5,0
Mercúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	0,08
Selênio	D013	1,0	< 0,01

**Tabela 5.18** – Resultados do ensaio de solubilização para o Resíduo 10 (RES 10) de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
Arsênio (mg/L)	0,01	0,01	0,01
Bário (mg/L)	0,7	0,241	0,232
Cádmio (mg/L)	0,005	< 0,001	< 0,001
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,01	< 0,01
<b>Cromo total (mg/L)</b>	<b>0,05</b>	<b>128</b>	<b>135</b>
<b>Fenóis totais (mg/L)</b>	<b>0,01</b>	<b>0,018</b>	<b>0,020</b>
<b>Fluoretos (mg/L)</b>	<b>1,5</b>	<b>215</b>	<b>200</b>
Mercúrio (mg/L)	0,001	< 0,0002	< 0,0002
Nitrato (mg N/L)	10,0	< 0,05	< 0,05
Prata (mg/L)	0,05	<0,01	<0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,2</b>	<b>1,31</b>	<b>1,30</b>
<b>Cloreto (mg/L)</b>	<b>250,0</b>	<b>415</b>	<b>422</b>
Cobre (mg/L)	2,0	< 0,01	< 0,01
Ferro (mg/L)	0,3	< 0,05	< 0,05
<b>Manganês (mg/L)</b>	<b>0,1</b>	<b>1,14</b>	<b>1,11</b>
<b>Sódio (mg/L)</b>	<b>200,0</b>	<b>426</b>	<b>472</b>
<b>Surfactantes (mg/L de MBAS)</b>	<b>0,5</b>	<b>1,93</b>	<b>1,57</b>
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	56,5	62,1
Zinco (mg/L)	5,0	< 0,01	< 0,01

O resíduo RES 10 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não tóxico** por não apresentar nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 10 foi classificado como: **Classe II A - Não Perigoso** por não apresentar nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inerte** por apresentar teor de cromo total, fenóis, fluoretos, alumínio, cloreto, manganês, sódio e surfactantes na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

### 5.1.11 Resíduo 11 – RES 11

**Tabela 5.19** – Resultados do ensaio de lixiviação para o Resíduo 11 (RES 11) de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	3,10
Cádmio	D007	0,5	< 0,001
Chumbo	D008	1,0	< 0,01
<b>Cromo total</b>	<b>D009</b>	<b>5,0</b>	<b>231</b>
Fluoretos	D010	150,0	7,30
Mercúrio	D011	0,1	< 0,0002
Prata	D012	5,0	0,02
Selênio	D013	1,0	< 0,01

O resíduo RES 11 foi caracterizado como:

**Não corrosivo** por não apresentar características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativo** por não apresentar características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Tóxico** por apresentar cromo total, no ensaio de lixiviação, em concentração superior ao valor especificado no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto o RES 11 foi classificado como: **Classe I - Perigoso** por apresentar cromo total acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação, código D009.

Resumidamente pode-se demonstrar por meio da tabela 5.20 a classificação dos resíduos e os elementos indicativos da classe.

**Tabela 5.20** - Classificação dos resíduos e respectivas fases do processo de origem

Resíduo	Origem - Fase do Processo	Classificação	Elemento indicador da classe
RES 01	Fabricação de Eletrodo	Mistura úmida	Classe II A – não perigoso, não inerte
RES 02		Prensagem	Classe I - Perigoso
RES 03	Fabricação de Arame Tubular	Recuperação	Classe I - Perigoso
RES 04		Trefilação	Classe I - Perigoso
RES 05		Bobinamento e rebobinamento	Classe II A – não perigoso, não inerte
RES 06	Fabricação de Fluxos	Peneiramento	Classe II A – não perigoso, não inerte
RES 07		Calcinação	Classe II A – não perigoso, não inerte
RES 08	Fabricação de Placas Anti-desgaste	Soldagem	Classe I - Perigoso
RES 09			Classe I - Perigoso
RES 10	Homogeneização das matérias-primas	Peneiramento e pesagem	Classe II A – não perigoso, não inerte
RES 11		Despoeiramento	Classe I - Perigoso

Comparando a classificação com os processos de origem pode-se concluir que o único processo de fabricação que não gera resíduo perigoso é o de fabricação de Fluxos. Isto pode ser explicado pela formação de compostos vítreos durante a queima do produto, que são estáveis frente à lixiviação. Este é o único processo onde o produto é calcinado a temperaturas em torno de 400 a 450°C. Os demais processos não têm a fase de calcinação.

Nenhuma amostra apresentou as características de corrosividade ou reatividade.

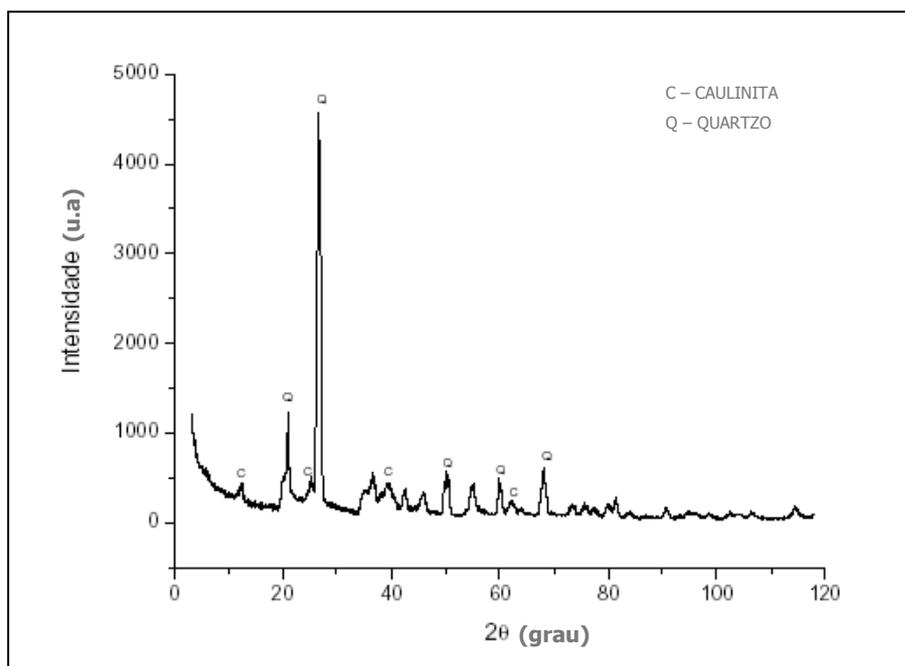
### **5.3 Caracterização química e classificação da argila usada na preparação dos corpos de prova**

A argila em seu estado natural apresentou-se sob a forma de sólido bem maleável, na cor marrom claro e odor característico.

**Tabela 5.21** - Resultados da análise química semi-quantitativa da argila por fluorescência de raios-x

Amostra	Elementos majoritários	Elementos medianos	Elementos minoritários	Elementos traços
Argila	Al, Si, O	Fe	K, Ti	Na, Mg, Ca, Cr, Mn, Zn, S, P

O difratograma de raio-x da amostra da argila utilizada neste trabalho está representado na figura 5.2. Verificam-se picos de difração das fases cristalinas refletidas referentes à caulinita  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ).



**Figura 5.2** - Difratograma de raio-X da argila usada nos corpos de prova

O difratograma mostra que se trata de uma argila caulínica, com seus picos característicos (picos mostrados por C). Os picos de quartzo (Q) são evidenciados por seu tamanho elevado em relação aos da caulinita; isto é devido ao alto grau de cristalinidade do quartzo em relação à caulinita e não à sua concentração em si. Normalmente, nas argilas caulínicas, o quartzo é apenas uma impureza devido a silicatos e sílica livre e a sua presença causa a redução da plasticidade (SANTOS, 1989). A caulinita é o material predominante, normalmente o constituinte essencial de argilas refratárias, e contribui para aumentar a refratariedade da massa (SANTOS, 1989).

**Tabela 5.22** – Resultados do ensaio de lixiviação para a argila usada nos corpos de prova de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,5
Bário	D006	70,0	<0,1
Cádmio	D007	0,5	< 0,02
Chumbo	D008	1,0	< 0,05
Cromo total	D009	5,0	<0,02
Fluoretos	D010	150,0	6,2
Mercúrio	D011	0,1	< 0,01
Prata	D012	5,0	< 0,01
Selênio	D013	1,0	< 0,5

**Tabela 5.23** – Resultados do ensaio de solubilização para a argila usada nos corpos de prova de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
Arsênio (mg/L)	0,01	<0,05	<0,05
Bário (mg/L)	0,7	<0,1	<0,1
Cádmio (mg/L)	0,005	< 0,005	< 0,005
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,005	< 0,005
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,001	< 0,001
Cromo total (mg/L)	0,05	<0,02	<0,02
<b>Fenóis totais (mg/L)</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>
<b>Fluoretos (mg/L)</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>
Mercúrio (mg/L)	0,001	< 0,001	< 0,001
Nitrato (mg N/L)	10,0	2,2	2,1
Prata (mg/L)	0,05	<0,01	<0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,2</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>
Cloreto (mg/L)	250,0	45	42
Cobre (mg/L)	2,0	< 0,02	< 0,02
<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>
Manganês (mg/L)	0,1	<0,02	<0,02
Sódio (mg/L)	200,0	14,0	14,2
Surfactantes (mg/L de MBAS)	0,5	0,08	0,07
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	37	36
Zinco (mg/L)	5,0	< 0,02	< 0,02

A argila foi caracterizada como:

**Não tóxica** por não apresentar nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Portanto a argila foi classificada como: **Classe II A - Não Perigosa** por não apresentar nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inerte** por apresentar teor de fenóis, fluoretos, alumínio e ferro na amostra solubilizada acima do limite máximo estabelecido na norma.

#### **5.4 Avaliação em escala laboratorial do uso do resíduo na incorporação em corpos cerâmicos**

##### **5.4.1 Resultados da análise semi-quantitativa do Resíduo Composto**

**Tabela 5.24** - Resultados da análise química semi-quantitativa por fluorescência de raios-x do resíduo composto

Amostra	Elementos majoritários	Elementos medianos	Elementos minoritários	Elementos traços
Resíduo único	Ca, Si, O	F, Al, Ti	Fe, Mg, K, Na, Mn, Cr, Zr, C	Mo, Nb, Sr, Ba, S, Cu, Zn

Principais fases identificadas por difração de raios-x:

- Fluoreto de cálcio (fluorita),  $\text{CaF}_2$ ;
- Carbonato de cálcio (calcita),  $\text{CaCO}_3$ ;
- Óxido de titânio (rutilo),  $\text{TiO}_2$ , que ocorre em quase todas as argilas. A cor cinzenta das argilas pode ser devido a óxidos de titânio (SANTOS, 1989);
- Óxido de magnésio (periclásio),  $\text{MgO}$ , que é um agente fundente e tende a baixar a refratariedade da argila (SANTOS, 1989);
- Óxido de silício (quartzo),  $\alpha\text{-SiO}_2$ , que é devido a silicatos e sílica livre e pode causar a redução da plasticidade ou aumentá-la se for argilomineral (SANTOS, 1989);
- Grafita, C;
- Óxido de zircônio (zirconita),  $\text{ZrSiO}_4$ ;

- Óxido de alumínio (coríndon),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que normalmente é o constituinte essencial de argilas refratárias e contribui para aumentar a refratariedade da massa (SANTOS, 1989);
- Carbonato de ferro II (siderita),  $\text{FeCO}_3$ , e Ferro metálico (ferrita),  $\alpha\text{-Fe}$ , que podem provocar alteração de cor da argila queimada e redução na refratariedade. O ferro pode combinar com outros componentes da argila formando vidros (SANTOS, 1989);
- Caulinita (caulim),  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , que atua como fundente nas argilas (SANTOS *et al.*, 2005);
- Carbonato de cálcio e magnésio (dolomita),  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

Pela análise qualitativa do resíduo pode-se concluir que existem compostos como o óxido de magnésio e dolomita cujas presenças são ruins em tijolos, devido à predisposição que têm para hidratação. Por outro lado existem compostos, como o óxido de silício e de alumínio que são estáveis, com alto ponto de fusão e de alta resistência mecânica.

Resíduos contendo  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$  são atrativos para o aproveitamento cerâmico porque estes compostos são normalmente encontrados nas matérias-primas usadas na fabricação de produtos cerâmicos. Ressalta-se também que a reutilização destes resíduos contribui para a diminuição do consumo de matérias-primas naturais, resultando em ganhos ambiental e econômico (MOREIRA *et al.*, 2005).

## **5.4.2 Ensaios físicos para análise dos corpos de prova**

### **5.4.2.1 Cor após queima**

A maior parte dos corpos de prova apresentaram coloração vermelha, exceto os que continham 15 e 20% de resíduo, como pode ser visto na figura 5.3.



**Figura 5.3 - Coloração dos corpos de prova.**

Após a queima, a cor dos corpos de prova variaram de bege claro a marrom avermelhado. A partir da proporção de 10% de resíduo apareceram pintas marrons avermelhadas provavelmente formadas pela presença de óxidos de cromo, um dos elementos majoritários no resíduo. Segundo Santos (1989), a cor da cerâmica após a queima para tijolos de alvenaria ou furados deve ser vermelha. Portanto, os corpos de prova com 15 e 20% de resíduo foram considerados reprovados.

Na tabela 5.25 mostram-se os resultados de cor dos corpos de prova após a queima.

**Tabela 5.25 – Coloração dos corpos de prova após a queima**

Percentual de resíduo	Coloração		
	CP1	CP2	CP3
0%	bege claro	bege claro	bege claro
5%	bege claro	bege claro	bege claro
10%	avermelhado	avermelhado	avermelhado
15%	avermelhado com pintas marrons	avermelhado com pintas marrons	avermelhado com pintas marrons
20%	marrom avermelhado com pintas marrons	marrom avermelhado com pintas marrons	marrom avermelhado com pintas marrons

#### 5.4.2.2 Absorção de água

Os resultados do ensaio de absorção de água pelos corpos de prova são mostrados na tabela 5.26.

**Tabela 5.26** – Resultados do ensaio de absorção de água pelos corpos de prova

Percentual de resíduo	Valores médios de absorção de água (%)		
	Especificação: de 8 a 25 %		
	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	%
0%	208	253	21,6
5%	203	244	20,2
10%	217	261	24,4
15%	224	269	20,1
20%	219	262	19,6

Todos os corpos de prova atenderam à especificação de absorção de água, verificando-se um aumento do percentual até a proporção de 10% de resíduo e diminuição a partir de 15% de resíduo.

#### 5.4.2.3 Ensaio de resistência à compressão

A tabela 5.27 relaciona a especificação do ensaio de resistência à compressão e os resultados do teste nos corpos de prova.

**Tabela 5.27** – Resultados do ensaio de resistência à compressão nos corpos de prova

Percentual de resíduo	Valores médios de resistência a compressão
	Especificação: de 10,2 kgf/cm <sup>2</sup> a 102,0 kgf/cm <sup>2</sup>
0%	85,1
5%	63,4
10%	57,7
15%	83,6
20%	70,6

Todos os corpos de prova tiveram resultados dentro da faixa de especificação.

### **5.5 Avaliação do produto final**

Os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização estão apresentados nas tabelas de 5.28 a 5.35 a seguir.

### 5.5.1 Corpos de Prova com 5% de resíduo

**Tabela 5.28** – Resultados do ensaio de lixiviação para os CP's com 5% de resíduo de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	23,0
Cádmio	D007	0,5	<0,001
Chumbo	D008	1,0	<0,01
Cromo total	D009	5,0	2,31
Fluoretos	D010	150,0	86,0
Mercúrio	D011	0,1	<0,0002
Prata	D012	5,0	0,02
Selênio	D013	1,0	<0,01

**Tabela 5.29** – Resultados do ensaio de solubilização para os CP's com 5% de resíduo de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
Arsênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Bário (mg/L)	0,7	0,042	0,042
Cádmio (mg/L)	0,005	<0,001	<0,001
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,01	< 0,01
Cromo total (mg/L)	0,05	0,01	0,01
Fenóis totais (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Fluoretos (mg/L)	1,5	1,01	1,00
Mercúrio (mg/L)	0,001	<0,0002	<0,0002
Nitrato (mg N/L)	10,0	<0,05	<0,05
Prata (mg/L)	0,05	< 0,01	< 0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,2</b>	<b>2,03</b>	<b>2,05</b>
Cloreto (mg/L)	250,0	12,2	12,1
Cobre (mg/L)	2,0	0,02	0,03
<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,41</b>	<b>0,41</b>
Manganês (mg/L)	0,1	0,02	0,02
Sódio (mg/L)	200,0	44,5	45,1
Surfactantes (mg/L de MBAS)	0,5	0,03	0,04
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	2,43	2,49
Zinco (mg/L)	5,0	<0,01	<0,01

Os corpos de prova com 5% de resíduo foram caracterizados como:

**Não corrosivos** por não apresentarem características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativos** por não apresentarem características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não tóxicos** por não apresentarem nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Classificados como: **Classe II A - Não Perigosos** por não apresentarem nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inertes** por apresentarem teor alumínio e ferro na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

### 5.5.2 Corpos de Prova com 10% de resíduo

**Tabela 5.30** – Resultados do ensaio de lixiviação para os CP's com 10% de resíduo de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

<b>Parâmetro</b>	<b>Código de identificação</b>	<b>Limite máximo permitido (mg/L)</b>	<b>Concentração no lixiviado (mg/L)</b>
Arsênio	D005	1,0	< 0,01
Bário	D006	70,0	24,2,0
Cádmio	D007	0,5	<0,001
Chumbo	D008	1,0	<0,01
Cromo total	D009	5,0	2,42
Fluoretos	D010	150,0	90,0
Merúrio	D011	0,1	<0,0002
Prata	D012	5,0	0,01
Selênio	D013	1,0	<0,01

**Tabela 5.31** – Resultados do ensaio de solubilização para os CP's com 10% de resíduo de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
Arsênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Bário (mg/L)	0,7	0,042	0,043
Cádmio (mg/L)	0,005	<0,001	<0,001
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,01	< 0,01
Cromo total (mg/L)	0,05	0,02	0,01
Fenóis totais (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Fluoretos (mg/L)	1,5	1,00	1,00
Mercúrio (mg/L)	0,001	<0,0002	<0,0002
Nitrato (mg N/L)	10,0	<0,05	<0,05
Prata (mg/L)	0,05	< 0,01	< 0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,2</b>	<b>2,41</b>	<b>2,44</b>
Cloreto (mg/L)	250,0	14,3	14,6
Cobre (mg/L)	2,0	0,01	0,01
<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,44</b>	<b>0,43</b>
Manganês (mg/L)	0,1	0,01	0,02
Sódio (mg/L)	200,0	43,8	43,7
Surfactantes (mg/L de MBAS)	0,5	0,01	0,01
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	2,55	2,57
Zinco (mg/L)	5,0	<0,01	<0,01

Os corpos de prova com 10% de resíduo foram caracterizados como:

**Não corrosivos** por não apresentarem características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativos** por não apresentarem características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não tóxicos** por não apresentarem nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Classificados como: **Classe II A - Não Perigosos** por não apresentarem nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inertes** por apresentarem teor de alumínio e ferro na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

### 5.5.3 Corpos de Prova com 15% de resíduo

**Tabela 5.32** – Resultados do ensaio de lixiviação para os CP's com 15% de resíduo de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo permitido (mg/L)	Concentração no lixiviado (mg/L)
Arsênio	D005	1,0	<0,01
Bário	D006	70,0	25,3
Cádmio	D007	0,5	<0,001
Chumbo	D008	1,0	<0,01
Cromo total	D009	5,0	2,54
Fluoretos	D010	150,0	94,8
Mercúrio	D011	0,1	<0,0002
Prata	D012	5,0	0,01
Selênio	D013	1,0	<0,01

**Tabela 5.33** – Resultados do ensaio de solubilização para os CP's com 15% de resíduos de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
Arsênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Bário (mg/L)	0,7	0,044	0,044
Cádmio (mg/L)	0,005	<0,001	<0,001
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,01	< 0,01
Cromo total (mg/L)	0,05	0,01	0,01
Fenóis totais (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Fluoretos (mg/L)</b>	<b>1,5</b>	<b>1,66</b>	<b>1,65</b>
Mercúrio (mg/L)	0,001	<0,0002	<0,0002
Nitrato (mg N/L)	10,0	<0,05	<0,05
Prata (mg/L)	0,05	< 0,01	< 0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,2</b>	<b>2,88</b>	<b>2,89</b>
Cloreto (mg/L)	250,0	14,8	14,8
Cobre (mg/L)	2,0	0,02	0,03
<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,46</b>	<b>0,47</b>
Manganês (mg/L)	0,1	0,02	0,02
Sódio (mg/L)	200,0	46,7	46,6
Surfactantes (mg/L de MBAS)	0,5	0,02	0,01
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	2,77	2,78
Zinco (mg/L)	5,0	<0,01	<0,01

Os corpos de prova com 15% de resíduo foram caracterizados como:

**Não corrosivos** por não apresentarem características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativos** por não apresentarem características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não tóxicos** por não apresentarem nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Classificados como: **Classe II A - Não Perigosos** por não apresentarem nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inertes** por apresentarem teor de fluoretos, alumínio e ferro na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

#### 5.5.4 Corpos de Prova com 20% de resíduo

**Tabela 5.34** – Resultados do ensaio de lixiviação para os CP's com 20% de resíduos de acordo com o anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004

<b>Parâmetro</b>	<b>Código de identificação</b>	<b>Limite máximo permitido (mg/L)</b>	<b>Concentração no lixiviado (mg/L)</b>
Arsênio	D005	1,0	<0,01
Bário	D006	70,0	26,6
Cádmio	D007	0,5	<0,001
Chumbo	D008	1,0	<0,01
Cromo total	D009	5,0	2,67
Fluoretos	D010	150,0	99,5
Merúrio	D011	0,1	<0,0002
Prata	D012	5,0	0,01
Selênio	D013	1,0	<0,01

**Tabela 5.35** – Resultados do ensaio de solubilização para os CP's com 20% de resíduos de acordo com o anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004

Parâmetro	Limite máximo permitido	Concentração no solubilizado da amostra	Concentração no solubilizado da duplicata
Arsênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Bário (mg/L)	0,7	0,047	0,049
Cádmio (mg/L)	0,005	<0,001	<0,001
Chumbo (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
Cianeto (mg/L)	0,07	< 0,01	< 0,01
Cromo total (mg/L)	0,05	0,02	0,03
Fenóis totais (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Fluoretos (mg/L)</b>	<b>1,5</b>	<b>1,69</b>	<b>1,70</b>
Mercúrio (mg/L)	0,001	<0,0002	<0,0002
Nitrato (mg N/L)	10,0	<0,05	<0,05
Prata (mg/L)	0,05	< 0,01	< 0,01
Selênio (mg/L)	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,2</b>	<b>2,94</b>	<b>2,96</b>
Cloreto (mg/L)	250,0	14,7	14,9
Cobre (mg/L)	2,0	0,01	0,02
<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,47</b>	<b>0,47</b>
Manganês (mg/L)	0,1	0,03	0,03
Sódio (mg/L)	200,0	50,1	50,2
Surfactantes (mg/L de MBAS)	0,5	0,03	0,04
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /L)	250,0	3,04	3,02
Zinco (mg/L)	5,0	<0,01	<0,01

Os corpos de prova com 20% de resíduo foram caracterizados como:

**Não corrosivos** por não apresentarem características corrosivas conforme item 4.2.1.2 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não reativos** por não apresentarem características reativas conforme item 4.2.1.3 da norma ABNT NBR 10004:2004.

**Não tóxicos** por não apresentarem nenhum contaminante, no ensaio de lixiviação, em concentração superior aos valores especificados no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004.

Classificados como: **Classe II A - Não Perigosos** por não apresentarem nenhum contaminante acima do limite máximo permitido no ensaio de lixiviação e **Não Inertes** por apresentarem teor de fluoretos, alumínio e ferro na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

Resumidamente pode-se demonstrar por meio da tabela 5.36 a classificação dos corpos de prova de acordo com os percentuais de resíduos e os elementos indicativos da classe.

**Tabela 5.36** - Classificação dos corpos de prova conforme percentual de resíduo

<b>Percentual de resíduo</b>	<b>Classificação</b>	<b>Elemento indicador da classe</b>
0 %	Classe II A – Não inerte	Fenóis, fluoretos, Al, Fe
5%	Classe II A – Não inerte	Al, Fe
10%	Classe II A – Não inerte	Al, Fe
15%	Classe II A – Não inerte	Fluoretos, Al, Fe
20%	Classe II A – Não inerte	Fluoretos, Al, Fe

## 6 CONCLUSÕES

Dos onze resíduos identificados seis classificaram-se como classe 1 - perigosos, sendo que quatro (RES 2, RES 8, RES 9 e RES 11) continham cromo total acima do limite máximo permitido e dois (RES 3 e RES 4) apresentaram bário acima do limite.

Na preparação dos corpos de prova observou-se que a partir do percentual de 15% de resíduo a massa ficou com aparência de mais molhada e a moldagem na forma foi mais difícil. Os corpos de prova apresentaram fissuras após desenforma.

Os corpos de prova com percentuais em peso de resíduo de 15% e 20%, apresentaram coloração avermelhada com pintas marrons, portanto, fora da conformidade para a especificação de cor para tijolos de cerâmica vermelha.

Todos os corpos de prova atenderam às especificações de absorção de água e de resistência a compressão, posicionando-se entre as classes de tijolos 60 a 100, conforme ABNT NBR 7171:1992.

Na avaliação do produto final, todos os corpos de prova classificaram-se como classe II A, não perigosos e não inertes por apresentarem fluoretos, alumínio e ferro acima do limite máximo permitido no extrato solubilizado.

Os resultados experimentais indicam que o resíduo do processo de fabricação de consumíveis para soldagem pode ser utilizado, até o percentual de 10% em peso de resíduo, como matéria-prima na formulação de massa argilosa para fabricação de cerâmica vermelha pois atendem às especificações técnicas e ambientais.

## 7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. M. *Avaliação da incorporação de lama do sistema de lavagem de gases de altos-fornos de usinas siderúrgicas integradas a coque em tijolos de cerâmica vermelha*. 2005. 119 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS SFA 5.1: Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding*. Miami, 2004. 56 p.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS SFA 5.4: Specification for stainless steel electrodes for shielded metal arc welding*. Miami, 2006. 54 p.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS SFA 5.20: Carbon steel electrodes for flux cored arc welding*. Miami, 2005. 50 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. *Cerâmica no Brasil*. Disponível em: <http://www.abceram.org.br>. Acesso em dezembro de 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. *Informações técnicas*. Disponível em: <http://www.abceram.org.br>. Acesso em janeiro de 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS. *Brasil trata apenas 22% dos resíduos industriais perigosos*. Disponível em: [www.abetre.com.br](http://www.abetre.com.br). Acesso em janeiro de 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6461: Bloco cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão – método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1983. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7171: Bloco cerâmico para alvenaria – especificação*. Rio de Janeiro, 1992. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004. 16 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004. 21 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA. *História da cerâmica*. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br>. Acesso em: fevereiro de 2007.
- BAUER, L.A.F. *Materiais de construção*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1994. Volume 2.
- BUTTER, P. L. *Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento compartilhado dos resíduos sólidos industriais no sistema de gestão ambiental da empresa*. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CAMARGO, A.C.; PORTELA, J.C.S; YOSHIMURA, H.N. Adição de metais tóxicos a massas cerâmicas e avaliação de sua estabilidade frente a agente lixiviante. Parte 1: Avaliação das características físicas. *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 2, p. 39-46, 2005.

CASAGRANDE M. N. *Efeito da adição de chamote semi-gresificado no comportamento físico de massa cerâmica para pavimento*. 2002. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CHIH-HUANG W.; DENG-FONG L.; PEN-CHI C. Utilization of sludge as brick materials. *Elsevier Science*, v. 7, n. 3, p. 679-685, 2003.

COSTA, M.G.; RIBEIRO, M.J.; LABRINCHA, J.A. Reutilização in situ das lamas residuais de uma indústria cerâmica. *Cerâmica Industrial*, v. 7, n. 5, p. 44-50, 2002.

DURÃES, R.F. *Como iniciar uma indústria de tijolos*. 3ª Edição. Rio de Janeiro. Departamento de Assistência à Média e Pequena Indústria, 1992. 63 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES. *Guide for industrial waste management. Part 1 – Getting started – Chapter 2 – Characterizing waste*. Disponível em: <http://epa.gov/industrialwaste/>. Acesso em: novembro de 2005.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. *Inventário industrial de resíduos sólidos industriais do Estado de Minas Gerais 2003*. Disponível em: [www.feam.br](http://www.feam.br). Acesso em dezembro 2006.

GIFFONI, P.O. *A utilização da borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos*. 2004. 80 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

HAAS, C. N.; VAMOS, R. J. *Hazardous and industrial waste treatment*. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

HASAN, S. E. *Geology and hazardous waste management*. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

HIBBELER, R.C. *Resistência dos materiais*. 5ª Edição, São Paulo: Prentice Hall, 2004. 688 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. *Mercado brasileiro de aço*. Rio de Janeiro, 2005.

INSTITUTO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA. *Gestão de resíduos sólidos requer maior atenção das indústrias*. Disponível em: [www.ietec.com.br](http://www.ietec.com.br). Acesso em: dezembro de 2005.

JUCÁ, J.F.T. *Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas*. Disponível em: [www.abge.com.br/resid04.htm](http://www.abge.com.br/resid04.htm). Acesso em: janeiro de 2006.

KRAEMER, M. E. P. *A questão ambiental e os resíduos industriais*. Disponível em: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). Acesso em: 2005.

LUÍZIO, M. A; FERRÃO P.C. *Ecologia industrial: ferramentas para a gestão de resíduos, aplicação aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos*. Disponível em: [http://meteo.ist.utl.pt/~jjdd/LEAMB/LEAmb%20TFC%20site%20v1/2003-2004/MLuizio\\_artigo.pdf](http://meteo.ist.utl.pt/~jjdd/LEAMB/LEAmb%20TFC%20site%20v1/2003-2004/MLuizio_artigo.pdf). Acesso em abril de 2007.

MARQUES, P.V. *Tecnologia da soldagem*. Belo Horizonte: Editora O Lutador, 1991. 352 p.

MARTINS, C.A.; SORDI, V.L.; BRUNO, R.S.S. ; ZAUBERAS, R.T. ; BOSCHI, A.O. Metodologia para avaliação da possibilidade de incorporação de resíduos industriais em massas cerâmicas conformadas por extrusão. *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 4, p. 32-34, 2005.

MODESTO, C.; BRISTOT, V.; MENEGALI, G.; BRIDA, M.; MAZZUCO, M.; MAZON, A; BORBA, G.; VIRTUOSO, J.; GASTALDON, M.; OLIVEIRA, A P. N. Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos industriais. *Cerâmica Industrial*, v. 8, n. 4, p. 14-18, 2003.

MOREIRA J. M. S., MANHÃES J. P. V. T., HOLANDA J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do noroeste fluminense em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, v. 51, p. 180-186, 2005.

PETRUCCI, E. G. R. *Materiais de construção*. 2ª edição. Porto Alegre: Editora Globo, 1976. 435 p.

SANTOS, I. M. G.; SILVA, J. M.; TRINDADE, M. F. S.; SOLEDADE, L. E. B.; SOUZA, A G.; PASKOCIMAS, C. A; LONGO, E. Efeito da adição de rejeito na redução de coração negro em cerâmicas vermelhas. *Cerâmica*, v. 51, p. 144-150, 2005.

SANTOS, P. S. *Tecnologia de argilas aplicadas às argilas brasileiras*. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltd., 1975.

SANTOS, P.S. *Ciência e tecnologia de argilas*. 2ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltd., 1989, volume 1. 1089 p.

SILVA, M.R. *Materiais de construção*. 2ª Edição. São Paulo: Pini, 1991. 33 p.

WIKIPEDIA. *Welding history*. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Welding>. Acesso em: dezembro de 2005.

YOSHIMURA, H.N; CAMARGO, AC; PORTELA, J.C.S. Adição de metais tóxicos a massas cerâmicas e avaliação de sua estabilidade frente a agente lixiviante. Parte 2: lixiviação. *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 4, p. 35-40, 2005.

YOSHIMURA, H.N; CAMARGO, A.C.; PORTELA, J.C. Adição de metais tóxicos a massas cerâmicas e avaliação de sua estabilidade frente a agente lixiviante. Parte 3: Estudo cinético de lixiviação. *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 5 e 6, p. 41-46, 2005.