

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

ESTUDO DA ADIÇÃO DO LODO GERADO PELA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA
NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICA VERMELHA

Joinville - SC

2010

DOUGLAS FERNANDO SILVA

**ESTUDO DA ADIÇÃO DO LODO GERADO PELA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA
NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICA VERMELHA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos da Universidade da Região de Joinville, para obtenção do título de mestre em Engenharia de Processos.
Professor Orientador Dr. Rogério de Almeida Vieira.

Joinville - SC

2010

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

S586e Silva, Douglas Fernando
Estudo da adição do lodo gerado pela indústria metal mecânica na fabricação de tijolos cerâmica vermelha / Douglas Fernando Silva ; orientador Rogério de Almeida Vieira ; – Joinville: UNIVILLE, 2010.

104 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Rogério de Almeida Vieira
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos da –
Universidade da Região de Joinville

1. Resíduos sólidos. 2. Cerâmica vermelha. 3. Tijolos. 4. Lodo -
Classificação. I. Vieira, Rogério de Almeida. Título.

CDD 363.7285

Termo de Aprovação

“Estudo da adição do lodo gerado pela indústria metal mecânica na fabricação de tijolos cerâmica vermelha”

por

Douglas Fernando Silva

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.



Prof. Dr. Rogério de Almeida Vieira
Orientador (UNIVILLE)



Prof. Dra. Elisabeth Wisbeck
Coordenadora do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Rogério de Almeida Vieira
Orientador (UNIVILLE)



Prof. Dr.-Ing. Alexandre Magno de Paula Dias
(UDESC)



Prof. Dra. Ana Paula Testa Pezzin
(UNIVILLE)

Joinville, 03 de dezembro de 2010.

A minha família,
pela compreensão, apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente eu gostaria de expressar a minha gratidão ao professor Rogério Vieira pela orientação e proposição do tema.

A professora Therezinha Maria Novaes de Oliveira pelas importantes contribuições para a realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos com ênfase nas Tecnologias mais Limpas, por estarem sempre disponíveis e também a secretária do curso de pós-graduação, Carolina Pinheiro Barbosa, pelos serviços prestados.

À Universidade Regional de Joinville e a Universidade do Estado de Santa Catarina, pela utilização da infra-estrutura e laboratórios, que possibilitaram diversos ensaios.

Ao aluno de pós-graduação em Engenharia de Processos com ênfase nas Tecnologias mais Limpas Geovane Vieira pela colaboração nas caracterizações dos materiais por difração de raios X e termogravimetria.

A profissional Rosaura Piccoli, do SENAI Criciúma pelo auxílio na preparação dos corpos de prova e análise laboratorial do material.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS.....	13
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
I. INTRODUÇÃO	16
II. OBJETIVOS.....	18
2.1. Objetivo geral	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
III. REVISÃO DA LITERATURA	19
3.1. Resíduos sólidos.....	21
3.1.1. <i>Classificação dos resíduos sólidos.....</i>	21
3.1.2. <i>Resíduos sólidos industriais.....</i>	27
3.2. Pré-tratamento de superfícies.....	29
3.2.1. <i>Fosfatização</i>	30
3.2.2. <i>Desengraxante alcalino</i>	31
3.2.3. <i>Refinador</i>	32
3.2.4. <i>Fosfato de zinco</i>	32
3.2.5. <i>Processo nanocerâmico.....</i>	33
3.3. Cerâmicas	34
3.3.1. <i>Cerâmica vermelha</i>	34
3.3.2. <i>Materiais de revestimento (placas cerâmicas)</i>	35
3.3.3. <i>Cerâmica branca.....</i>	35
3.3.4. <i>Materiais refratários</i>	36
3.3.5. <i>Isolantes térmicos.....</i>	37
3.3.6. <i>Fritas e corantes</i>	38
3.3.7. <i>Abrasivos</i>	39
3.3.8. <i>Vidro, cimento e cal.....</i>	40
3.3.9. <i>Cerâmica de alta tecnologia/cerâmica avançada.....</i>	40
3.4. Tijolos de cerâmica vermelha	41
3.4.1. <i>Matéria prima</i>	41
3.4.2. <i>Tipos de argilas.....</i>	42

3.4.3. Processo de fabricação de tijolos	43
3.4.4. Propriedades dos tijolos de argila	48
3.5. Utilização de resíduos na indústria cerâmica.....	57
IV. MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
4.1. Classificação do lodo	58
4.2. Caracterização do lodo	58
4.2.1. Fluorescência de raios X (FRX)	58
4.2.2. Difração de raios X (DRX)	59
4.2.3. Análises térmicas (TGA e DSC).....	59
4.3. Confeção dos corpos de prova	60
4.3.1. Preparação das misturas de lodo com argila.....	60
4.3.2. Conformação dos corpos de prova	61
4.4. Ensaio físicos mecânicos	61
4.4.1. Umidade de extrusão.....	61
4.4.2. Técnica de classificação da plasticidade da massa cerâmica.....	62
4.4.3. Granulometria.....	65
4.4.4. Retração linear de secagem.....	66
4.4.5. Resistência à compressão	67
4.4.6. Absorção de água.....	68
4.4.7. Retração linear de queima.....	69
4.4.8. Massa específica aparente e porosidade aparente	70
4.4.9. Perda ao fogo.....	72
4.4.10. Cor de queima	73
V. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
5.1. Classificação do resíduo	74
5.2. Fluorescência de raios X	76
5.3. Difração de raios X	77
5.4. Análise térmica	78
5.5. Ensaio físicos mecânicos	79
5.5.1. Umidade de extrusão.....	79
5.5.2. Classificação da plasticidade da massa cerâmica.....	81
5.5.3. Granulometria.....	81
5.5.4. Retração linear de secagem.....	83
5.5.5. Resistência à compressão	85

5.5.6. <i>Absorção de água</i>	86
5.5.7. <i>Retração linear de queima</i>	87
5.5.8. <i>Massa específica aparente</i>	88
5.5.9. <i>Porosidade aparente</i>	89
5.5.10. <i>Perda ao fogo</i>	90
5.5.11. <i>Cor de queima</i>	91
CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foto aérea da Whirlpool Unidade de Eletrodomésticos em Joinville.....	19
Figura 2 – Caracterização e classificação dos resíduos sólidos	24
Figura 3 - Dinâmica dos metais pesados no solo.....	26
Figura 4 - Etapas processo de tratamento de superfície.....	30
Figura 5 - Reação de neutralização	31
Figura 6 - Tijolos cerâmica vermelha.....	34
Figura 7 - Cerâmica de revestimento	35
Figura 8 – Louça sanit., louça de mesa, isol. elétricos e cerâmica artística.	36
Figura 9 - Tijolos refratários.....	37
Figura 10 - Forro em lã de vidro	38
Figura 11 - Acabamento vítreo ao azulejo.....	39
Figura 12 - Discos de lixamento abrasivos.....	39
Figura 13 – Vidro.....	40
Figura 14 – Lâmina em cerâmica avançada.....	41
Figura 15 – Processo fabricação do tijolo de cerâmica vermelha	44
Figura 16 – Procedimento utilizado para determinação da umidade de extrusão	61
Figura 17 - Procedimento utilizado para determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade	64
Figura 18 - Procedimento utilizado para determinação da granulometria	66
Figura 19 - Procedimento utilizado para determinação da retração linear de secagem	67
Figura 20 - Procedimento utilizado para determinação da resistência à compressão	68
Figura 21 - Procedimento utilizado para determinação da absorção de água.....	69
Figura 22 - Procedimento utilizado para determinação da retração linear de queima	70
Figura 23 - Procedimento utilizado para determinação da massa específica aparente e porosidade aparente.....	71
Figura 24 – Procedimento utilizado para determinação da perda ao fogo	72
Figura 25 – Espectro da difração de Raio X da composição do lodo	77
Figura 26 – Análise termogravimétrica e calorimetria exploratória diferencial da amostra de lodo.....	78

Figura 27 – Umidade de extrusão média dos corpos de prova	80
Figura 28 – Fotografias dos corpos de prova com incorporação de lodo após o processo de secagem: (a) 10 % de lodo, (b) 15 % de lodo e (c) 20% de lodo. A seta mostra a presença de trinca.....	80
Figura 29 – Porcentagem de material retido nas peneiras com malha de 16, 32, 60, 115 e 250 Mesh com a formulação de 10% de lodo incorporado à argila.....	82
Figura 30 - Porcentagem de material retido nas peneiras com malha de 16, 32, 60, 115 e 250 Mesh com a formulação de 15% de lodo incorporado à argila.....	82
Figura 31 - Porcentagem de material retido nas peneiras com malha de 16, 32, 60, 115 e 250 Mesh com a formulação de 20% de lodo incorporado à argila.....	83
Figura 32 – Retração linear de secagem média dos corpos de prova	84
Figura 33 – Resistência a compressão média (Mpa) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C	85
Figura 34 – Absorção de água média (%) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C.....	86
Figura 35 – Retração linear de queima média (%) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C..	87
Figura 36 – Massa específica aparente média (g/cm ³) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C	88
Figura 37 – Porosidade aparente média (%) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C.....	90
Figura 38 – Perda ao fogo média (%) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C.....	91
Figura 39 – Resultado da cor de queima dos corpos de prova	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição granulométrica (%) em relação aos tipos de produto	51
Tabela 2 - Absorção de água de tijolos de diferentes formas e dimensões.	53
Tabela 3 – Interpretação dos resultados perda ao fogo	56
Tabela 4 - Totais de corpos de prova utilizados em cada ensaio.....	73
Tabela 5 – Resultado das concentrações do extrato lixiviado e massa bruta da amostra de lodo.....	74
Tabela 6 – Resultado da concentração do extrato solubilizado da amostra de lodo.	75
Tabela 7 - Composição química do lodo da ETE	76
Tabela 8 - Dados de limite de liquidez, limite de plasticidade e índice plasticidade para os corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo incorporado à argila.....	81
Tabela 9 - Coloração dos corpos de prova após queima	92

LISTA DE ABREVIATURAS

ABC	-	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	-	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COMETRO	-	Conselho Nacional de Metrologia
DP	-	Desvio padrão
DRX	-	Difração de Raios-X
DSC	-	Calorimetria Exploratória Diferencial
ETE	-	Estação de Tratamento de Efluentes
FRX	-	Fluorescência de Raios-X
NBR	-	Norma Brasileira
SEBRAE	-	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
TGA	-	Análise termogravimétrica
UDESC	-	Universidade do Estado de Santa Catarina
UNIVILLE	-	Universidade de Joinville
ICDD	-	International Center for Diffraction Data
T_{onset}	-	Temperatura inicial de perda de massa
LL	-	Limite de liquidez
LP	-	Limite de plasticidade
IP	-	Índice de plasticidade
SENAI	-	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UE	-	Umidade de Extrusão

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a incorporação do lodo da indústria metal mecânica na matéria prima de fabricação de tijolos furados e maciços de cerâmica vermelha. O processo de tratamento de superfícies utilizado na fabricação de produtos da linha branca (refrigeradores, fogões, lavadoras de roupa, etc.) gera resíduos sólidos (lodo) que defrontam com o problema de descarte após o tratamento de seus efluentes líquidos. O lodo foi coletado na estação de tratamento de efluente da indústria Whirlpool SA Joinville, SC. A argila foi coletada no depósito de matérias primas de uma empresa de produção de tijolos da região de Joinville, SC. O lodo foi caracterizado através da análise de fluorescência de raios-X, sua característica mineralógica foi obtida com a difratometria de raios-X, e seu comportamento térmico analisado por termogravimetria e calorimetria exploratória diferencial. Posteriormente, foram formuladas misturas com lodo e argila nas proporções de 10, 15 e 20 % em massa. As composições foram moídas até a granulometria de 0,084 mm e extrudadas para obtenção dos corpos de prova. Estes foram secos ao natural e em estufa na temperatura de 110 °C, em seguida queimados na temperatura de 800, 900, 950 e 1050 °C. Os corpos de prova confeccionados foram analisados pelas propriedades de perda ao fogo, retração de queima, retração de secagem, absorção de água, cor de queima, massa específica aparente, porosidade aparente, granulometria, resistência à compressão, umidade e a plasticidade. As composições de 10 e 15 % apresentaram resultados muito promissores em relação aos requisitos recomendados. Todavia, melhorar as propriedades de porosidade aparente com a temperatura de queima, bem como as características de perda ao fogo e retração de secagem com a adição de argilas menos plásticas é o desafio para trabalhos futuros. Viabilizando o uso do lodo para fabricação de tijolos, contribuindo para a redução dos custos de matéria prima e do impacto ambiental.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the incorporation of the sludge from the metalworking industry in the raw material for manufacturing air bricks and massive red pottery. The process of surface treatment used in the manufacture of white goods (refrigerators, stoves, washing machines, etc..) Generates solid waste (sludge) that are facing the problem of disposal after the treatment of their wastewater. The sludge was collected at the treatment plant effluent from industry Whirlpool SA Joinville, SC. The clay was collected in the storage of raw materials of a brick manufacturing company in the region of Joinville, SC. The sludge was characterized through the analysis of X-ray fluorescence, characteristic mineralogy was obtained with the X-ray diffraction, and their thermal behavior studied by thermogravimetry and differential scanning calorimetry. Subsequently, mixtures were formulated with silt and clay in proportions of 10, 15 and 20% by weight. The compositions were milled to a particle size of 0.084 mm and extruded to obtain the specimens. These were dried in an oven and natural temperature of 110 ° C, then burned at a temperature of 800, 900, 950 and 1050 ° C. The specimens were prepared for analysis by property loss to fire, firing shrinkage, drying shrinkage, water absorption, firing color, density, porosity, particle size, compressive strength, moisture and plasticity. The compositions of 10 and 15 % showed very promising results in relation to specifications. However, to improve the properties of porosity with sintering temperature, and the characteristics of the fire loss and drying shrinkage with the addition of less plastic clays is the challenge for future work. Enabling the use of mud for making bricks, helping to reduce raw material costs and environmental impact.

I. INTRODUÇÃO

Com o crescimento econômico as indústrias passam a produzir em escalas cada vez maiores, e com seus processos pouco desenhados para minimização de impactos ambientais, geram resíduos cada vez mais difíceis de serem degradados pela natureza, e em quantidades cada vez maiores.

No processo de pintura de superfícies metálicas, uma fase imprescindível é o pré-tratamento químico. Este pré-tratamento é realizado para remoção dos óleos e graxas da superfície do metal, e compreende processos de desengraxe, enxágües aplicação de agentes passivadores, fosfatização ou aplicação de novas tecnologias que estão substituindo os compostos de fosfato por nanocerâmicos. Na estação de tratamento de efluente (ETE) a remoção dos contaminantes da água, provinda do processo e do efluente sanitário, ocorre através do processo físico-químico onde são adicionados agentes de coagulação e floculação que formam um precipitado. Este precipitado é encaminhado a filtros prensa ao qual separam parte do material líquido e retém em sua estrutura uma massa pastosa chamada de lodo.

O lodo pode ser considerado como uma acumulação de sólidos ou um precipitado de uma sedimentação de uma planta de tratamento de água, ou seja, é a porção sólida removida da água residual.

O lodo gerado durante os vários processos industriais pode conter níveis altos de metais tóxicos, e estes níveis excessivos de metais pesados, quando introduzidos ao solo através do lodo podem ser absorvidos e causar danos à saúde das plantas e no homem. Esse assunto tem despertado uma forte preocupação nos dias atuais (NAIR *et. al.*, 2007).

Devido às propriedades acumulativas e nocivas dos metais pesados, o destino dos resíduos sólidos produzidos pela indústria metal mecânica, passou a ser um problema, que vem agravando a poluição ambiental.

Entre os principais problemas ambientais que os novos processos industriais e seus produtos têm gerado estão às descargas de metais pesados como cromo e zinco e substâncias alcalinas, elementos altamente tóxicos e danosos para o meio ambiente, visto que são freqüentemente dispostos em um dos três reservatórios geoquímicos da natureza: Atmosfera, Hidrosfera ou Litosfera (DUARTE & PASQUAL, 2000).

Além disto, o lodo ou o resíduo sólido formado deve ser direcionado a locais apropriados ao seu acomodamento, como aterros industriais, uma vez que sua composição pode causar impacto ao meio ambiente, e seu acúmulo necessita de áreas cada vez maiores para seu armazenamento.

Uma alternativa ecologicamente correta para a destinação final do lodo, proveniente da indústria metal mecânica, seria a possibilidade do seu aproveitamento como matéria prima na indústria cerâmica. Visto que a matéria prima empregada possui certas características semelhantes ao do lodo, tais como plasticidade quando molhado e dureza quando seco.

Este foi o grande desafio deste estudo, com base na revisão bibliográfica e nas propriedades do material, encontrar meios de aproveitar o resíduo sólido como matéria prima, utilizando processos que apresentem baixo custo de instalação com fácil operacionalização e potencializando a eliminação ou minimização do resíduo poluente.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Utilizar o lodo gerado na estação de tratamento de efluentes da Whirlpool SA para fabricação de tijolos maciços ou furados de cerâmica vermelha.

2.2. Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar o lodo formado na ETE da empresa;
- ❖ desenvolver formulações que possibilitem a obtenção dos tijolos maciços ou furados de cerâmica vermelha com características que correspondam às especificações técnicas;
- ❖ avaliar as propriedades dos corpos de prova de argila confeccionados com diferentes formulações de lodo.

III. REVISÃO DA LITERATURA

A Whirlpool foi criada em 2006, com a reorganização societária entre Multibrás S.A. Eletrodomésticos e Embraco - Empresa Brasileira de Compressores S.A., dando origem respectivamente à: Whirlpool Unidade de Eletrodomésticos e Whirlpool Unidade de Compressores.

A Unidade Joinville, apresentada na Figura 1, é a maior fábrica de produtos de refrigeração da América Latina e responsável pela maior parte da produção da Whirlpool S.A. – Unidade de Eletrodomésticos. Em Joinville, são fabricados refrigeradores, freezers (horizontais e verticais) e secadoras das marcas Brastemp, Consul e Whirlpool. Também estão instalados os Centros de Tecnologia de Refrigeração e de Cocção e uma parte do Centro de Tecnologia de Condicionadores de Ar.



Figura 1 - Foto aérea da Whirlpool Unidade de Eletrodomésticos em Joinville localizada na Estrada Dona Francisca no Distrito Industrial da cidade.
Fonte: Arquivo Whirlpool Unidade de Eletrodomésticos (2008).

A empresa possui uma ETE projetada para o tratamento do efluente do processo industrial, e o efluente sanitário. Os resíduos sólidos gerados na ETE são prensados e enviados ao aterro industrial acarretando em despesas fixas e em responsabilidade ambiental sobre o material descartado para a empresa. Em 2008, foram enviados para o aterro industrial cerca de 280 toneladas de resíduo lodo, e

apesar do envio apropriado ao órgão responsável pelo armazenamento, a empresa está sujeita a medidas judiciais cabíveis no caso de acidentes ambientais. Novas despesas poderiam ser adicionadas como multas, grandes processos administrativos contra a empresa e perda de credibilidade junto ao cenário nacional e internacional. Sabe-se que a inteira responsabilidade dos rejeitos é direcionada a quem gera o resíduo desde sua formação até sua completa degradação. Além disto, deve-se ressaltar que a legislação vigente pode ser reformada e impactar em maiores custos de acordo com o enfoque dado ao meio ambiente a cada dia.

Trabalhando na direção de uma sociedade sustentável, a reciclagem, a recuperação de produtos e o manuseio cuidadoso dos escassos recursos do meio ambiente devem ser considerados. O crescimento das quantidades de lodo dos tratamentos de águas residuais e as restrições cada vez mais rigorosas nos aterros industriais estão promovendo discussão de novas alternativas.

Os métodos de deposição em aterro, aplicação na terra e incineração são os modos atuais dominantes para destino aos lodos das plantas de tratamento de águas residuárias (SVANSTRÖM *et. al.*, 2004).

Jialong *et. al.* (2007) menciona que a produção de lodo de efluente tem atingido uma dimensão alarmante como crescimento da população urbana, com a melhoria da qualidade de vida e o desenvolvimento da indústria e agricultura. São estimados que aproximadamente 26 Kg de lodo sejam gerados por pessoa por ano, numa base de massa seca. Aproximadamente 4000 toneladas de lodo de efluente são produzidas cada dia na Coréia. Nos Estados Unidos da América, mais de 2 bilhões de dólares são gastos anualmente no tratamento e aproximadamente de 5 a 7 milhões de toneladas secas de biosólidos são processadas por mais de 13000 empresas que trabalham com o tratamento. Na China, estima-se que o lodo de efluente produzido em 2005 pode ter alcançado 3,5 milhões de toneladas.

Mas o lodo de efluente não pode ser encarado somente como uma ameaça ao meio ambiente, mas sim também como um recurso. No manuseio sustentável do lodo, os recursos são eficientemente reciclados sem transferir substâncias nocivas aos seres humanos ou ao meio ambiente (HARREMOES, 1996 *apud* STARK, 2005). O material orgânico pode ser usado como fertilizante para o solo, produção de energia, adsorção de materiais ou produção de compostos orgânicos como ácidos orgânicos. O material inorgânico pode ser utilizado para o reuso como precipitantes

químicos, usados na construção de materiais e na recuperação de valiosos metais (STARK, 2005).

3.1. Resíduos sólidos

A ABNT, através da NBR 10004/04, adota a seguinte definição para resíduos sólidos:

“Resíduos sólidos: Resíduos nos estados 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 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.”

3.1.1. Classificação dos resíduos sólidos

Publicada em 31 de maio de 2004, começou a vigorar em novembro, a NBR10004 foi elaborada no âmbito da ABNT em substituição a NBR 10004/87. A entidade normatizadora fundada em 1940 é o único organismo brasileiro com status de Fórum Nacional de Normalização de acordo com a resolução número 7/92 do COMETRO. O documento fixa os novos critérios técnicos para a classificação dos resíduos sólidos e sua elaboração contou com a colaboração de dezenas de técnicos, representantes de entidades e setores empresariais, de prestadores de serviços na área de resíduos e de instituições oficiais de fiscalização e controle ambiental (CASTRO, 2005).

A nova versão da norma tem o mérito de classificar os resíduos sólidos para o gerenciamento, um aspecto inexistente na versão anterior do documento. A NBR 10004/87 era focada na classificação dos resíduos para disposição em aterro. “A atual tem essa visão ampliada, voltada para a classificação, com vista ao

gerenciamento dos resíduos independente da sua destinação final". A segregação dos resíduos na origem, ou seja, na fonte geradora, constitui aspecto extremamente importante, junto com o desenvolvimento dos procedimentos corretos no processo de classificação, elevando a potencialidade de reaproveitamento e reciclagem de um determinado resíduo.

A classificação para o gerenciamento dos resíduos na nova versão da NBR 10004/04 estabelece dois grupos: os da Classe I Perigosos, e os da Classe II Não perigosos, sendo que esses últimos estão subdivididos em Classe II A Não inertes e Classe II B Inertes, removendo a antiga classificação de resíduos classe III (não perigosos inertes). Outro aspecto importante é a questão do laudo de classificação, do qual deve fazer parte a indicação da origem do resíduo com a identificação das matérias primas e insumos, como etapa decisiva para a classificação de um determinado resíduo, bem como a descrição do processo de segregação e a descrição do critério adotado na escolha de parâmetros analisados, quando for o caso, incluindo os laudos de análises laboratoriais.

A NBR 10004/04 trouxe, ainda, esclarecimentos quanto aos códigos anteriormente utilizados, onde aparecia um B ou um F e ninguém conseguia identificar absolutamente nada. Neste ponto a norma está mais clara, pois contém um roteiro mais detalhado de maneira a facilitar o entendimento das etapas a serem percorridas pelo usuário. Uma das formas para enquadrar um resíduo como perigoso está na elaboração de Laudo de Classificação baseado exclusivamente na identificação do processo produtivo, por profissional habilitado, quando do enquadramento do resíduo nas listagens dos Anexos A e B constantes da NBR 10004/04, onde estão detalhados os resíduos perigosos de fontes não específicas e os resíduos perigosos de fontes específicas, respectivamente.

Na seqüência da aplicação da norma, um resíduo é considerado perigoso quando apresenta pelo menos uma das seguintes propriedades: corrosividade, reatividade, inflamabilidade, toxicidade ou patogenicidade. Ao definir resíduos perigosos a norma faz menção aos seus diferentes anexos bem como às demais normas relacionadas à 10004 para o estabelecimento de uma correta classificação. São os casos da NBR 10005/04, relativa ao procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, a NBR 10006/04, relativa ao procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, e a NBR 10007/04, referente à amostragem de resíduos sólidos.

A importância da mudança na NBR se justifica também a partir da melhoria na aplicação dos conceitos empregados na classificação dos resíduos e de seu entendimento de maneira geral. O objetivo é classificar os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que estes possam ser gerenciados adequadamente. Embora a adesão das indústrias seja facultativa, na prática a adoção à norma é imprescindível (CASTRO, 2005). A Norma Brasileira NBR 10004/04, classifica os resíduos Classe II A ou resíduos não inertes, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I - perigosos ou na Classe II B - inertes. Estes resíduos podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Já os resíduos classe II B inertes, são os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, quando submetidos ao teste de solubilização (Norma NBR 10006/04 - "Solubilização de Resíduos - Procedimento") não apresentam em nenhum de seus constituintes solubilizados, concentrações superiores aos padrões definidos na Listagem G - "Padrões para o Teste de Solubilização". Como exemplo destes materiais, pode-se citar: rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos.

São considerados como resíduos sólidos tóxicos, determinados resíduos do processamento industrial que apresentem, em teste de lixiviação, determinados elementos ou compostos acima de níveis fixados em normas ou regulamentos. Esses elementos ou compostos tóxicos, que conferem periculosidade ao resíduo são: cromo, cádmio, mercúrio, chumbo, arsênio, bário, selênio, cianeto, prata, compostos organoclorados, compostos organofosforados e produtos contendo bifenil-policlorado. A presença de alguns desses elementos ou compostos acima de certa concentração, no resíduo sólido, leva a considerá-lo como perigoso, ou seja, resíduo de classe I.

A Figura 2 apresenta às etapas de classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente.

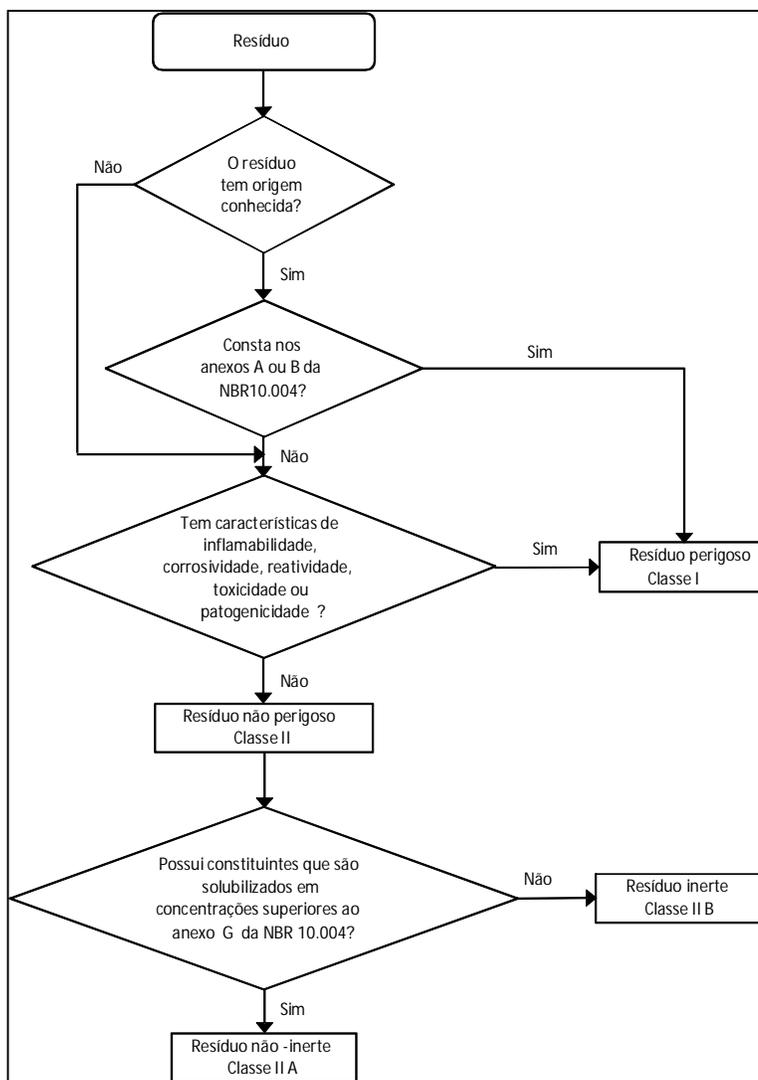


Figura 2 – Caracterização e classificação dos resíduos sólidos
 Fonte: MEDEIROS, 2006.

Os resíduos que contêm metais pesados são perigosos para o meio ambiente e à saúde humana, pois quando depositados de forma errônea, podem infiltrar-se no solo e atingir lençóis freáticos, entrando assim no ecossistema aquático, nos rios e nos mares, sendo incorporados na cadeia alimentar, aumentando sua concentração nos seres vivos através do efeito da bioacumulação (FERGUSON, 1990).

Os resíduos não inertes são aqueles que apresentam no teste de solubilidade, segundo NBR 10005/04, algum constituinte acima do recomendado, podem ainda apresentar propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Resíduos inertes são quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões da potabilidade de água, excetuando-se os padrões de espectro, cor, turbidez e sabor. A ausência de uma padronização dos métodos de determinação das características físico-químicas e microbiológicas dificulta a comparação de resultados, sendo um dos problemas da discussão atual entre especialistas na área de resíduos (FERREIRA e CASTANHO, 2001).

Com relação a contaminação com metais pesados as atividades de maior potencial de geração de resíduos perigosos são as indústrias químicas, as refinarias de petróleo, a siderurgia, as indústrias de metais não ferrosos, de papel e celulose, de processamento de couros e de instalações que executam serviços de galvanoplastia, decapagem e pintura. Pode-se afirmar que toda atividade industrial pode gerar algum tipo de resíduo classificado como perigoso pela legislação ambiental (EYER, 1995). Além de uma série de contaminantes químicos presentes nesses resíduos, destacam-se os metais pesados (TAKAYANAGUI, 2000).

A expressão “metal pesado” é comumente utilizada para designar metais classificados como poluentes, englobando um grupo muito heterogêneo de metais, semi-metais e mesmo não metais como o selênio. Na lista de metais pesados estão com maior frequência os seguintes elementos: alumínio, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, prata, zinco e vanádio (CETESB, 2001).

Metais pesados como chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio, cromo, zinco e manganês, dentre outros, estão presentes em diversos tipos dos resíduos levados para aterros sanitários municipais e incineradores, podendo ser encontrados nestes materiais: lâmpadas, pilhas galvânicas, baterias, restos de tintas, restos de produtos de limpeza, óleos lubrificantes usados, solventes, embalagens de aerossóis, restos de amálgama utilizada em consultórios odontológicos, materiais fotográficos e radiográficos, embalagens de produtos químicos, pesticidas, fungicidas e inseticidas, componentes eletrônicos descartados isoladamente em placas de circuitos impressos, resíduos de produtos farmacêuticos, medicamentos com prazos de validade vencidos, lataria de alimento, aditivos alimentares e plásticos descartados (EYER, 1995).

A concentração de metais pesados no meio ambiente, com sua disseminação no solo, água e atmosfera tem sido motivo de crescente preocupação no mundo. Os metais podem ser percolados por meio de líquidos como a água da chuva, infiltrando-se no solo e, quando alcança o lençol freático, contamina a água subterrânea. A contaminação dessas águas tem conseqüências que perduram por tempo indefinido e são de difícil controle. Além de provocar a contaminação da água, a disposição inadequada de resíduos que contém metal pesado polui também o solo, atingindo as plantas, os animais e o homem (MAGOSSI e BONACELLA, 1991).

Os metais pesados que são incorporados no solo podem seguir diferentes vias de fixação, liberação ou transporte, segundo a representação da Figura 3. Os metais podem ficar retidos no solo, seja dissolvidos em solução ou fixados por processos de adsorção, complexação e precipitação. Também podem ser absorvidos pelas plantas e, assim, serem incorporados às cadeias tróficas, ou também podem passar para a atmosfera por volatilização como é o caso do mercúrio ou mover-se para águas superficiais ou subterrâneas.

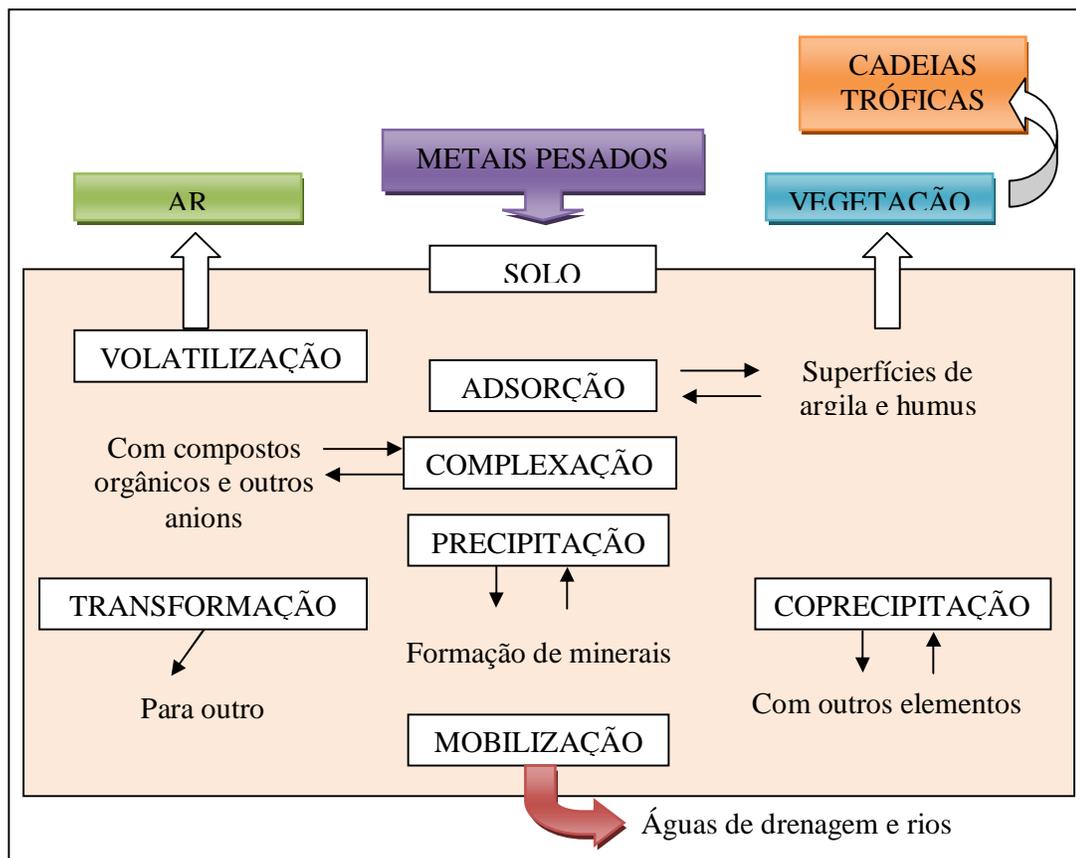


Figura 3 - Dinâmica dos metais pesados no solo.
Fonte: GARCIA e DORRONSORO, 2002.

3.1.2. Resíduos sólidos industriais

O acelerado processo de industrialização observado em algumas regiões, aliado à expansão demográfica dele decorrente, tem acarretado um aumento considerável na produção de resíduos sólidos, particularmente no que se refere aos de origem industrial. Segundo a CETESB (2001), o gerenciamento inadequado dos resíduos industriais contribui de forma marcante para o agravamento dos problemas ambientais, notadamente nos grandes centros urbanos. Como evidências desse fato, destacam-se o destino final dos resíduos sólidos industriais, que constitui atividade potencialmente poluidora do meio ambiente.

Os impactos ambientais de processos industriais resultam de subprodutos (matéria ou energia) gerados e não comercializados, sendo por isso lançados fora ao menor custo possível. Alguns destes subprodutos podem causar poluição.

Portanto, a análise dos impactos ambientais de qualquer processo industrial engloba a análise dos fluxos de matéria e energia que afluem para o processo e que dele resultam (COELHO, 1996).

Os resíduos sólidos industriais, tóxicos e perigosos, correspondem aos resíduos gerados pelos mais diversos tipos de indústrias de processamentos. Pertencem a uma área complexa, pois deve ser estudado caso a caso, para que se tenha uma solução técnica e economicamente adequada.

Pode-se dizer que os resíduos sólidos são gerados de duas formas na indústria: como subprodutos dos processos industriais ou como lodos das estações de tratamento de efluentes. Por isso, é importante o conhecimento das operações geradoras de resíduos, bem como dos fatores que afetam a geração nos processos de fabricação (TEXEIRA; SOUSA e SOUZA, 2010). Relativamente ao gerenciamento dos resíduos industriais, um dos principais problemas consiste na escassez de dados sobre a sua caracterização, manejo, tratamento e destino final.

A geração anual de resíduos industriais perigosos no Brasil é da ordem de 2,7 milhões de toneladas, conforme estimativas apresentadas no 2º Guia de Tecnologias Ambientais Brasil-Alemanha 2001-2002 e citadas pelo Informativo do Programa Bolsa de Resíduos e Negócios (SEBRAE). E apenas 600 mil toneladas, o equivalente a 22 % da geração, têm tratamento, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos Especiais. "Portanto, cerca de dois milhões

de toneladas por ano de resíduos perigosos devem estar sendo depositados indevidamente ou simplesmente acumulados para posterior destinação". (FIEC, 2010; SENAI, 2010).

Pelas leis brasileiras e internacionais, o manejo e o tratamento dos resíduos sólidos industriais é uma responsabilidade das fontes geradoras. No caso brasileiro, no entanto, o destino final, muitas vezes é uma incógnita, em função da carência de informações geradas por estudos sistemáticos. Mesmo as informações geradas a partir de órgãos de controle ambiental não são confiáveis, uma vez que poucas são as empresas que buscam o licenciamento, e quando o fazem muitas vezes é em decorrência de processos de autuação, não representando, portanto, a realidade do universo das empresas geradoras. O fato mais preocupante é que, diariamente, estes resíduos são dispostos a céu aberto, poluindo o solo, o ar e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Considerando-se a diversidade e o porte do parque industrial brasileiro, pode-se afirmar que, em termos ambientais, a quantidade e a qualidade dos resíduos gerados assumem importância considerável no processo de degradação do ambiente. As questões do manejo, tratamento e destino final dos resíduos sólidos industriais no Brasil só não são mais críticas pelo total desconhecimento da realidade, pois a desinformação conduz a uma visão equivocada e parcial do problema (LIMA, 1991). A alta concentração industrial em algumas regiões do país e a carência de instalações e locais adequados para o tratamento e destinação final dos resíduos gerados tem se configurado em um novo problema ambiental dos grandes centros.

O que ocorre em larga escala é a destinação inadequada dos resíduos, incluindo aí os resíduos industriais perigosos. Apesar de algumas empresas recorrerem à estocagem em suas propriedades, criando aterros cativos ou galpões de armazenamento controlado, ainda são insuficientes as instalações dedicadas ao tratamento e descontaminação dos resíduos perigosos (SCHNEIDER, BETTIN e PARISE, 2000).

3.2. Pré-tratamento de superfícies

Geralmente, as peças que terão suas superfícies tratadas ou pintadas já se apresentam como produtos quase prontos, ou seja, trefilados, fundidos, forjados e estampados. As superfícies das peças nestas condições não podem ser tratadas imediatamente porque, normalmente apresentam resíduos de óleo, trincas, restos de graxas e abrasivos de polimentos. Neste caso, é necessário um pré-tratamento das superfícies, de modo que elas fiquem bastante limpas antes do tratamento propriamente dito (FIESP, 1996).

O pré-tratamento químico é a operação que remove óleos e graxas da superfície do metal. Uma superfície oleosa ou engraxada ao ser atingida por um jato de água apresenta grande dificuldade para manter a água, já uma superfície bem desengraxada deixa-se molhar em toda a sua extensão apresentando um filme contínuo sem interrupção. Esta é a melhor maneira de se distinguir se a superfície está bem ou mal desengraxada (FIESP, 1996).

Os produtos fabricados em metais ou ligas e até mesmo em aços galvanizados correm o risco de sofrer corrosão. Uma das soluções para este problema consiste na pintura, pois este é um importante meio de tratamento de superfícies no sentido de preservar uma série de produtos, tais como veículos, móveis, eletrodomésticos entre outros (LANGE *et. al.*, 2007).

O processo de tratamento da superfície metálica pode ser caracterizado pelas etapas conforme apresentado na Figura 4.

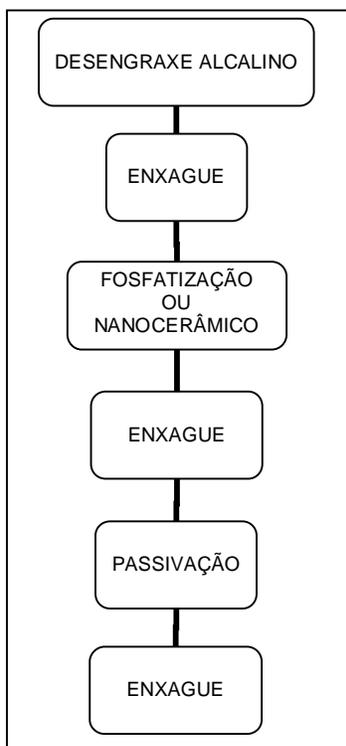


Figura 4 - Etapas processo de tratamento de superfície

Existem diversos processos de pintura, conforme a necessidade, sendo que uma das principais técnicas de pré-tratamento de superfícies é a fosfatização e outra que está ganhando espaço no mercado e a aplicação de processo nanocerâmico.

3.2.1. Fosfatização

A fosfatização é um processo químico a partir do qual uma camada de fosfato de zinco de pequena espessura é cristalizada sobre a superfície metálica com o objetivo de aumentar a ancoragem da tinta ao substrato e oferecer proteção contra a corrosão durante o tempo de vida do produto (WEG, 2005). Geralmente, uma linha de fosfatização é composta por banhos de desengraxante alcalino, de refinador e de fosfato de zinco, alternados por tanques de enxágüe contínuo de peças, além do secador.

3.2.2. Desengraxante alcalino

A função dos banhos de desengraxante é de limpeza das peças, eliminando os óleos de proteção presentes na chapa. A temperatura encontra-se entre 70 e 80 °C e os controles físico-químicos realizados para se ter certeza da qualidade do desengraxe de um metal é pela umectação da superfície pela água. Se o metal for bem desengraxado, a água deve formar um filme contínuo e uniforme e se o desengraxe não for perfeito, aparecerão gotas ou lugares secos (GENTIL, 1996).

Pode-se também manter o controle da concentração do banho, onde são utilizadas quantidades suficientes de amostra como indicador, geralmente fenoftaleína. A solução adquire coloração rosa intenso devido a forte alcalinidade do desengraxante, pH aproximado de 12. A amostra é titulada com um ácido até o desaparecimento da coloração rosa, indicando o ponto de viragem, onde todos os íons hidroxila foram neutralizados pelos íons de hidrogênio do ácido. Esta é, portanto, uma titulação de neutralização. Sua reação básica é apresentada na Figura 5:



Figura 5 - Reação de neutralização
Fonte: LEE, 1999

O sódio presente no desengraxante, na forma de hidróxido, tem a função de elevar o pH (LEE, 1999).

O controle do processo de desengraxe é muito importante porque, se não retirarmos todos os óleos e graxas da superfície da peça, não se obtém um produto final de qualidade. Por estes motivos a concentração não deve sair dos padrões estabelecidos e a temperatura do banho deve estar entre 70 e 80 °C.

De acordo com Amaro (2006), a alta temperatura ajuda a dissolver algumas sujidades e aumenta a energia cinética das moléculas elevando a capacidade de reação.

3.2.3. Refinador

O banho de refinador tem por função preparar a peça limpa para receber a camada fosfatizante. É composto por solução de vários sais complexos de titânio e carbonato de sódio que formam uma película sobre a chapa. Seu pH deve ser mantido dentro de um padrão, pois acima deste, o banho perde seu efeito, estando saturado com íons hidroxila provenientes do desengraxante alcalino, que são arrastados mesmo após o enxágüe (PANOSSIAN, 1993).

3.2.4. Fosfato de zinco

O banho fosfatizante, tem função de depositar a camada de zinco protetora com afinidades para tinta em pó. Neste banho há necessidade de se acrescentar aditivos, como nitrito de sódio, que aceleram a deposição de fosfato (LUCZKIEVICZ, 2006).

A concentração de aditivo é medida com o auxílio de um recarrômetro (cachimbo): enche-se o cachimbo com solução do banho, adiciona-se ácido sulfâmico, faz-se um movimento de 180° (invertendo o cachimbo) aguarda-se até a reação completar (aproximadamente 1 minuto) e volta-se à posição anterior, observando-se a quantidade de gás formada na medida (WEG, 2005).

A determinação da acidez total e acidez livre também é muito importante para uma perfeita adição de fosfato ao substrato. Estas análises são feitas a partir de reações de neutralização, onde para a acidez total a amostra de pH ácido, adquire coloração rosa no ponto de equivalência da titulação; e para acidez livre a amostra adquire coloração azul. A acidez do banho deve ser mantida dentro de um padrão, pois o excesso de íons H⁺ presentes na solução pode promover oxidação das peças tratadas (LUCZKIEVICZ, 2006).

3.2.5. Processo nanocerâmico

Baseado numa combinação de nanoestrutura do tipo cerâmico óxido metálico, com metais tais como o titânio e/ou o zircônio, o revestimento nanocerâmico é produzido rapidamente e a película depositada de nanopartículas do óxido metálico é obtida dentro de 20 a 30 segundos (DRONIOU, 2006).

A nanotecnologia é um conceito em se aplicar ou incorporar às superfícies metálicas (metais ferrosos ou não ferrosos) partículas nano-estruturadas que, após sua deposição e secagem, assumem uma característica nanocerâmica em virtude de a camada ser constituída de óxidos. Esta característica faz com que a camada aplicada seja mínima e uniforme, o que confere as mesmas propriedades especiais no recebimento da camada de tinta, tais como: aderência flexibilidade, ausência de efeito revelador de fundo e aumento da resistência à corrosão se comparando com o fosfato de ferro e de zinco convencional (BOSSARDI, 2007).

Apesar da tecnologia com processos nanocerâmicos estarem sendo considerada como um processo ecologicamente corretos, pela isenção de metais pesados, a geração de lodo ainda permanece na ETE. E, da mesma forma com o tratamento com fosfato, o resíduo sólido continua a ocupar espaço físico e a carregar consigo resíduos provenientes da limpeza das superfícies (BOSSARDI, 2007).

A alternativa de minimização do impacto ambiental, de um processo de tratamento de superfícies metálicas que gera resíduos, voltada apenas ao tratamento dos efluentes e à disposição dos resíduos sólidos, não leva a competitividade que o mercado exige, torna-se necessário uma alternativa para separação, tratamento e reutilização dos componentes dos banhos que estavam contaminando os efluentes (BOSSARDI, 2007).

3.3. Cerâmicas

Cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas (ABC, 2002).

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 (ABC, 2002).

3.3.1. Cerâmica vermelha

Compreende aqueles materiais com coloração avermelhada 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 (ABC, 2002).



Figura 6 - Tijolos cerâmica vermelha
Fonte: <http://t1.gstatic.com/images/tijolos>

3.3.2. Materiais de revestimento (placas cerâmicas)

Fabricadas com matéria-prima de alta qualidade, as placas cerâmicas são elementos nobres, altamente resistentes às intempéries e praticamente isentas de manutenção, exceto pelo fato de simples lavagens. Recebem designações tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, Grés, lajota, piso, etc. (JUNGINGER, 2007).



Figura 7 - Cerâmica de revestimento
Fonte: <http://t1.gstatic.com/images/revestimentoceramico>

3.3.3. 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 (ABC, 2002).

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.



Figura 8 – Louça sanit., louça de mesa, isol. elétricos e cerâmica artística.
Fonte: <http://t1.gstatic.com/images/ceramicabranca>

3.3.4. *Materiais refratários*

Os refratários são produtos que pertencem ao universo da cerâmica (inorgânicos, não metálicos) que possuem a característica principal de resistir às altas temperaturas (por definição, a sua temperatura de fusão deve ser superior a 1580 °C). Não devem, porém, serem apenas resistentes ao calor, mas, possuem também outras características como: baixo coeficiente de dilatação térmica, alta resistência à compressão, impactos, saltos térmicos, e não devem reagir com as substâncias as quais venham a ter contato. Eles são usados principalmente para o revestimento de fornos industriais (para a fabricação de cal, cimento, vidro, etc.) para metalurgia, na indústria cerâmica e nas fábricas de coque (CANNIO, 2010).



Figura 9 - Tijolos refratários
Fonte: <http://t1.gstatic.com/images/refratários>

3.3.5. Isolantes térmicos

Os produtos deste segmento podem ser classificados em (ABC, 2002):

- a) Refratários isolantes que se enquadram no segmento de refratários,
- b) Isolantes térmicos não refratários, compreendendo produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, 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 e
- c) Fibras ou lãs cerâmicas que apresentam características físicas semelhantes às 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.

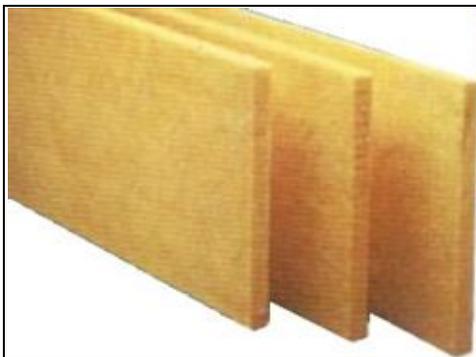


Figura 10 - Forro em lã de vidro
Fonte: <http://t1.gstatic.com/images/isolantestermicos>

3.3.6. 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 (KIECKBUSCH, 2005).

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 (KIECKBUSCH, 2005).



Figura 11 - Acabamento vítreo ao azulejo
Fonte: <http://t1.gstatic.com/images/fritas>

3.3.7. 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 podem ser citados o óxido de alumínio eletrofundido e o carbeto de silício (ABC, 2002).



Figura 12 - Discos de lixamento
abrasivos
Fonte: <http://t1.gstatic.com/images/abrasivos>

3.3.8. Vidro, cimento e cal

São três importantes segmentos cerâmicos e que, por suas particularidades, são muitas vezes considerados à parte da cerâmica (ABC, 2002).



Figura 13 – Vidro
Fonte: <http://t1.gstatic.com/images/vidro>

3.3.9. Cerâmica de alta tecnologia/cerâmica avançada

O aprofundamento dos conhecimentos da ciência dos materiais proporcionou ao homem o desenvolvimento de novas tecnologias. Além dos aprimoramentos 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. (ABC, 2002).



Figura 14 – Lâmina em cerâmica avançada

Fonte: <http://t1.gstatic.com/images/ceramicaaltatecnologia>

3.4. Tijolos de cerâmica vermelha

3.4.1. Matéria prima

A argila é um dos minerais naturais mais abundantes na Terra. Para a fabricação de tijolos de argila, deve possuir algumas propriedades e características específicas. Tais argilas devem ter plasticidade adequada, o que lhes permite serem moldadas quando misturadas com água, e secas ao ar para manter a sua estrutura após a formação (BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 2006).

As argilas variam de suaves argilas plásticas para rígidas argilites. Suas propriedades químicas, as quais estão relacionadas à sua composição mineralógica, propriedades físicas e, em especial ao tamanho do grão, são cruciais para determinar a sua aptidão para a fabricação de produtos cerâmicos estruturais. Essas propriedades afetam o comportamento do formato da massa (o processo antes da

queima em que o material é moldado), o seu comportamento durante a secagem e queima, e também nas propriedades finais do produto. Essas propriedades incluem resistência à compressão, absorção de água, porosidade, perda de massa, retração de queima e resistência a temperaturas baixas e altas, portanto, durabilidade. Importante, também afetam a aparência estética, tais como cor e textura, proporcionando uma maior escolha do estilo para arquitetos e desenvolvedores (CAMERON, 2007).

As argilas sedimentadas consistem essencialmente de minerais de argila e quartzo, embora outros minerais possam ser encontrados. Esses outros minerais podem ter uma influência considerável sobre argila para a fabricação de tijolos. Em uma massa argilosa, deve haver minerais de argila presentes o suficiente para torná-la moldável, porém podendo manter sua forma. Materiais fluxantes (geralmente de potássio, sódio e ou ferro) também devem estar presentes para permitir a vitrificação da argila (parcialmente fundir para formar um corpo, dar resistência ao produto), quando requerido. Uma proporção adequada dos componentes não-plásticos, geralmente quartzo, também é necessária para evitar a retração e deformação excessiva durante a secagem e queima. Argilas com boa qualidade têm a predominância de minerais como caulinita e illita. Estas conferem importantes propriedades durante a formação e queima dos tijolos. As emissões de carbono e enxofre podem ter uma influência importante no desempenho da queima, baixos níveis são requeridos (<1.5 % e 0.1 % respectivamente). A cor vermelha escura dos tijolos é adquirida devido à presença de minerais de ferro em quase todas as argilas. No entanto, a presença de minerais de carbonato, tais como calcita e dolomita, podem produzir tijolos de cor mais pálida. Contudo para a produção de tijolos amarelos, ou de cor desbotada basta o uso de argilas com baixo conteúdo de ferro (CAMERON, 2007).

3.4.2. Tipos de argilas

Segundo a Brick Industry Association (2006), as argilas podem ser encontradas de três formas principais, porém todas com composições químicas semelhantes, mas diferentes características físicas:

Argilas de superfície: podem ser encontradas em depósitos de erupções antigas ou de recentes formações sedimentares. Como o nome sugere, são encontradas perto da superfície da terra.

Xisto de argila: são argilas que foram submetidas a altas pressões até quase se tornarem ardósia.

Argilas resistentes ao calor: são extraídas de níveis mais profundos do que outras argilas e tem qualidades refratárias.

Argilas de superfície e resistentes ao calor diferem do xisto de argila em relação a sua estrutura física, mais são similares em sua composição química. Todos os três tipos de argila possuem em sua composição sílica e alumina e mais uma grande variedade de óxidos metálicos. Contudo, a composição química da argila varia dentro de cada mina de extração, e as suas diferenças são compensadas por diferentes processos de fabricação. Como resultado da fabricação do tijolo, um mesmo fabricante terá propriedades ligeiramente diferentes em produções subseqüentes. Além disso, tijolos de diferentes fabricantes, que têm a mesma aparência podem diferir em outras propriedades (BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 2006).

3.4.3. Processo de fabricação de tijolos

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 (GROENNER, 2007). A Figura 15 apresenta de modo geral as etapas utilizadas para fabricação dos tijolos de cerâmica vermelha.

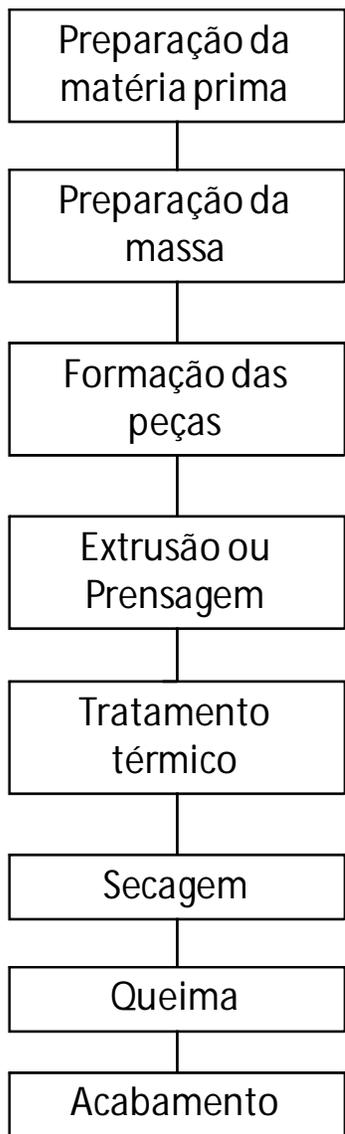


Figura 15 – Processo fabricação do tijolo de cerâmica vermelha

Preparação da matéria-prima

Grande parte das matérias primas utilizadas na indústria cerâmica tradicional é natural, encontrando-se em depósitos espalhados na crosta terrestre. Após a mineração, os materiais devem ser beneficiados, isto é, desagregados ou moídos, classificados de acordo com a granulometria e muitas vezes também purificados. O processo de fabricação propriamente dito tem início somente após essas operações.

As matérias-primas sintéticas geralmente são fornecidas prontas para uso, necessitando apenas, em alguns casos, de um ajuste de granulometria (GROENNER, 2007).

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 (GROENNER, 2007).

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 (GROENNER, 2007).

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 (GROENNER, 2007).

Prensagem

Nesta operação utilizam-se sempre que possíveis 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 (GROENNER, 2007).

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 desejadas; em seguida, essa coluna é cortada, obtendo-se desse modo peças como tijolos vazados (GROENNER, 2007).

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 (GROENNER, 2007).

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 (GROENNER, 2007).

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 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 *apud* GROENNER, 2007, p. 31). 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 (GROENNER, 2007).

Queima

Segundo Groenner (2007), 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 (GROENNER, 2007).

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 (GROENNER, 2007).

3.4.4. Propriedades dos tijolos de argila

Umidade de extrusão

A determinação, controle e manutenção da umidade de extrusão e o conhecimento da quantidade de água que deverá ser evaporada na secagem trazem importantes benefícios ao processo produtivo (IPT, 1986). Entende-se por Umidade de Extrusão – UE, como sendo a quantidade de água nos corpos de prova que é eliminada sob a forma de vapor na faixa de temperatura de 100 – 150°C. Essa perda de massa deve-se unicamente à liberação de água livre e materiais voláteis. A determinação da UE é importante para se saber a quantidade de água ideal requerida pela argila para ser extrudada e a quantidade de água que necessitará ser evaporada, para se obter maior controle da secagem (AMORIM, 2007).

Índices de Atterberg

Os Índices de Atterberg constituem-se os ensaios de Limite de Plasticidade - LP, Limite de Liquidez - LL e Índice de Plasticidade - IP que são fundamentais para a determinação da plasticidade de um solo (ALMEIDA, 2005).

Limite de liquidez

Em 1911 foram definidos, pelo cientista sueco A. Atterberg, certos limites que delimitam o intervalo de consistência do solo, denominados limite de liquidez e de plasticidade (SOUZA, 2000). O limite de liquidez é um parâmetro que indica o quanto à matéria mais fina do solo é afetada pela presença de água (MACEDO, 2007).

Arthur Casagrande padronizou esse ensaio, inicialmente desenvolvido por Atterberg, utilizando-se um aparelho desenvolvido por ele, denominado Aparelho de Casagrande, com o qual se aplicam golpes deixando a concha do aparelho cair de uma altura padrão até que a ranhura feita no solo contido na concha se feche em uma extensão convencional. A suposição do processo é que com as pancadas, a água se encaminhe para essa região, aumentando o teor de umidade (o que diminui a resistência ao cisalhamento). Experimentalmente se descobriu que no limite de liquidez, a resistência ao cisalhamento de todos os solos plásticos é muito pequena (25 g/cm², aproximadamente). O choque da concha produz o esforço de cisalhamento, mas a ranhura apenas começa a se estreitar quando a umidade (na região de fechamento) se aproxima do limite de liquidez. A resistência que o solo oferece ao fechamento do sulco, medida pelo número de golpes requerido, é devida à "resistência ao cisalhamento" para aquela umidade (AMORIM, 2007)

A seqüência de operações do ensaio é executada pelo menos por cinco vezes. Amostras pequenas são retiradas na região de fechamento, para a determinação de seu teor de umidade. Anota-se o número de golpes necessários para fechar a ranhura, a cada tentativa. Quando o ensaio é bem executado e todos os pontos obtidos são válidos, esses pontos dispõem-se próximos de uma linha reta,

denominada reta de escoamento. (A teoria da resistência ao cisalhamento dos solos plásticos confirma essa linearidade) (AMORIM, 2007).

Casagrande estabeleceu que o limite de liquidez do solo é o teor de umidade para o qual o sulco se fecha com 25 golpes (AMORIM, 2007).

Limite de plasticidade

A plasticidade é a propriedade segundo a qual o corpo se deforma sob a ação de uma força e conserva a deformação depois de 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 propriedades de plasticidade dependem do teor de umidade, da forma das partículas e de sua composição química e mineralógica. Suas características consistem na maior ou menor capacidade de serem moldados, sob certas condições de umidade sem variar suas propriedades, bem como, sob determinada tensão. Diz-se que o sistema é “elástico” quando recupera sua forma e seu volume primitivo e/ou ao aplicar ação das forças externas que o deformam. Em contraposição, diz-se “plástico” quando não recupera seu estado original ao cessar a ação deformante. O fato de um corpo se comportar como “elástico” ou como “plástico” depende da intensidade das forças aplicadas e da precisão do grau de observação (VAN VLACK, 1973).

Índice de plasticidade

O Índice de Plasticidade representa a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. Ou seja, representa a quantidade de água que ainda pode ser adicionada a partir do limite de plasticidade, sem alterar o estado plástico da argila ou massa cerâmica (AMORIM, 2007).

Segundo Macedo (2007), o índice de plasticidade revela as características de comportamento do material analisado. Solos arenosos apresentarão um baixo índice de plasticidade e solos siltsos e argilosos um índice mais alto.

Atterberg comprovou que, à medida que aumenta o conteúdo de argila no solo, aumentam também os valores do índice de plasticidade; desta forma, quanto maior a relação da superfície total das partículas de argila em relação ao seu volume, maior é o número de moléculas de água capaz de absorver e, por conseguinte, serão mais elevados os valores dos limites de Atterberg (SOUZA, 2000).

Granulometria

A granulometria das argilas é um fator importante na determinação da composição das massas, pois interfere diretamente nas propriedades das peças. Quanto maior for a fração de partículas argilosas (menor que 2 μm), maior é sua plasticidade e, conseqüentemente, maior é a quantidade de água requerida para dar trabalhabilidade a massa cerâmica, gerando também problemas na secagem e queima dos produtos. Desta forma, quando a argila é “gorda”, acrescenta-se, geralmente, uma argila “magra”, com mais impurezas e granulometria maior, que age como desplastificante (PRACIDELLI; MELCHIADES, 1997).

Na Tabela 1 é apresentada a composição granulométrica, em percentual, dos produtos cerâmicos, onde são identificadas áreas que permitem selecionar uma matéria prima em função da fração granulométrica para cada uma das aplicações.

Tabela 1 – Composição granulométrica (%) em relação aos tipos de produto

Regiões Tipos de produto	Composição granulométrica (%)		
	2 μm	2 a 20 μm	>20 μm
Materiais de qualidade com dificuldade de produção	40 a 50	20 a 40	20 a 30
Telhas, capas	30 a 40	20 a 50	20 a 40
Tijolos furados	20 a 30	20 a 55	20 a 50
Tijolos maciços	15 a 20	20 a 55	25 a 55

Fonte: PRACIDELLI; MELCHIADES, 1997

Retração de secagem

A retração é consequência da eliminação de água existente na matéria prima e da adição na formulação da massa (PARANHOS, 2010). A água contida no interior das peças feitas com materiais cerâmicos, evidentemente, tende a evaporar por influência da atmosfera exterior. O calor que dá origem a secagem, pelo contrário, age do exterior para o interior. Ou seja, a corrente quente do exterior movimenta-se em sentido contrário à água que procura sair do interior (SANTOS, 2009).

Como a superfície externa seca mais rapidamente, ela se contrai e, em consequência, fecha os poros da argila, dificultando a saída de água ainda contida internamente. Isto gera tensões entre a parte externa e a parte interna. Ao ser eliminada a água e ao surgirem os vazios por ela deixados ocorre uma aproximação das partículas em consequência das forças de atração eletrostática provocando o que se chama de aglomeração ou adensamento (SANTOS, 2009). Após a queima, a retração é decorrência do fenômeno de sinterização (PARANHOS, 2010).

Resistência à Compressão

O material cerâmico tem muita resistência à compressão porque ele não se rompe por deslizamento, este comportamento é diretamente ligado às forças interatômicas do material. Porém, os materiais cerâmicos não podem romper-se por compressão pura, pois nenhum valor crítico da tensão é atingido à medida em que o espaço interatômico vai sendo reduzido (BITENCOURT, 2004).

A capacidade de suportar carga sem deformação excessiva ou ruptura depende da resistência de cada material. Embora muitas propriedades mecânicas importantes de um material possam ser determinadas por meio do teste de resistência a compressão, 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).

Absorção de Água

Segundo Bittencourt (2004), a absorção de água é a quantidade de água necessária para encher os poros existentes em um corpo de prova cerâmico. O ar escapa quando o corpo de prova é imerso, permitindo a livre passagem da água por entre os poros. Os valores médios de absorção de água dos tijolos cerâmicos em Santa Catarina variam entre 17 % a 24 % por massa como mostra a Tabela 2.

A propriedade de absorção de água dos tijolos cerâmicos influencia na permeabilidade das paredes de alvenaria, ou seja, quanto maior o coeficiente de absorção do material, mais permeável é a parede. Porém, baixos coeficientes prejudicam a aderência da argamassa. Influencia, também, na resistência à compressão dos tijolos, sendo esta inversamente proporcional à absorção de água (BITENCOURT, 2004).

Tabela 2 - Absorção de água de tijolos de diferentes formas e dimensões.

<i>Tipos de Tijolos</i>	<i>Absorção de Água (%)</i>
<i>Maciços</i>	<i>22,19</i>
<i>Pequenos de 21 furos</i>	<i>19,97</i>
<i>Grandes de 21 furos</i>	<i>17,42</i>
<i>Pequenos losangulares</i>	<i>18,56</i>
<i>Grandes losangulares</i>	<i>19,27</i>

Fonte: PRADO, 1995

Expansão e Retração

A dilatação térmica dos materiais cerâmicos varia conforme sua energia interna. Geralmente, o coeficiente de dilatação térmica é maior para temperaturas mais elevadas. Também é admissível dizer que, quanto maior é a temperatura de fusão de um material, menor é a sua dilatação térmica (BITENCOURT, 2004)

Os movimentos de temperatura e umidade ocorrem ao mesmo tempo e podem ser considerados conjuntamente. O maior aumento no comprimento ocorre no calor com tempo úmido, e o maior decréscimo no frio com tempo seco. Depois que os tijolos são retirados dos fornos eles sofrem leve expansão que vai decrescendo com o tempo. Em alguns tijolos a expansão ocorre em até seis meses, porém em outros, continua por muitos anos numa razão reduzida. Isto não ocorre da mesma maneira em todos os tipos de tijolos, logo é necessário o conhecimento do material local para que seja admitida uma tolerância. Esta expansão e retração ocorre também com a mudança de temperatura. Os materiais cerâmicos absorvem consideráveis quantidades de água, o que causa uma pequena expansão. As principais desvantagens disso são: aumento de massa para estruturas de alvenaria; risco de a umidade ser transferida para o interior; descoloração temporária e eflorescência. Como a composição das argilas e dos tijolos cerâmicos varia de um lugar para outro, assim o comportamento dos mesmos também varia. Além disso, devido à grande diferença de clima entre um lugar e outro e, eventualmente, entre o local de produção e utilização dos tijolos, eles podem contrair ou expandir após a fabricação (BITENCOURT, 2004). Por este motivo, os tijolos recém sinterizados não devem ser comercializados logo após a fabricação. Deve haver um tempo de espera de quinze dias para que os tijolos atinjam um equilíbrio dimensional (BITENCOURT, 2004).

Massa específica aparente

O aumento da massa específica aparente ou também densidade aparente durante a compactação é uma decorrência da deformação plástica dos grânulos que ao se deformarem passam a ocupar os espaços vazios que havia entre eles (porosidade intergranular). Nos casos em que os grânulos são ocos, bastante comum nos pós-granulados produzidos por atomização, há também o preenchimento desses vazios. Portanto, a densificação depende da facilidade com que os grânulos se deformam plasticamente, ou seja, da sua plasticidade. Ao aumentar-se a pressão, aumenta-se o grau de deformação, mas o efeito plastificante de água continua sendo o mesmo. Entretanto, ao se aumentar a massa específica

aparente (densidade aparente), o volume de espaços vazios entre as partículas por unidade de volume da amostra diminui e, com ele, a mobilidade das partículas. Assim sendo, resta um volume cada vez menor para que a água adicionada, além de revestir a superfície das partículas e torná-las plásticas, possa se movimentar sobre elas (CASAGRANDE, 2002).

Como a massa específica aparente do compacto é dada pela razão entre a massa e o volume do mesmo, e a massa permanece constante durante a compactação, a única forma de se aumentar a massa específica aparente (densidade aparente) é através da redução do volume (CAMPREGHER, 2005).

A densidade hidrostática do tijolo cerâmico maciço depende da composição da argila e varia de cerca de 2250 kg/m³ até 2800 kg/m³, geralmente ficando perto de 2600 kg/m³. Vale ressaltar que estes valores são válidos para os tijolos americanos e ingleses (BITENCOURT, 2004).

Porosidade

A porosidade representa a porcentagem do volume de poros abertos do tijolo em relação ao seu volume total (ARAUJO, 2008).

Quando os grãos de argila são grossos, ela tem menos poros e maior permeabilidade; quando predominam os grãos finos, a argila tem mais poros e menos permeabilidade. Com argilas de grãos de vários tamanhos, reduzem-se a porosidade e a permeabilidade, ou seja, consegue-se um encaixe melhor (chama-se de melhor “empacotamento”) do que entre partículas com granulometria contínua. A porosidade tem influência sobre as argilas e as cerâmicas, aumentando a absorção de água na razão direta da quantidade de seus poros. Porém, favorece a sinterização e a refratariedade, diminuindo a condutibilidade térmica e elétrica e a massa específica aparente do material. A resistência a esforços axiais e a resistência à abrasão também são diminuídas com o aumento da porosidade (PIZATTO, 2001).

Perda ao Fogo

Pode se obter a determinação da perda ao fogo juntamente com ensaio de retração linear, resultando a massa final do produto após a queima (IPT, 1986). Uma perda ao fogo elevada demonstra a presença de matéria orgânica e de calcário (MÁS, 2002). A perda ao fogo de tijolos não pode ser somente atribuída à matéria orgânica contida na argila, ela também depende de substâncias inorgânicas presentes na argila durante o processo de queima (ROUF, 2004).

É possível fazer a interpretação dos resultados do ensaio de perda ao fogo que segundo MÁS (2002) é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Interpretação dos resultados perda ao fogo

Perda ao Fogo (%)	Interpretações
4 – 8	Valor baixo, provável presença de magros
10 – 12	Provável predomínio de plásticos
12 – 50	Matéria orgânica ou calcária

Fonte: MÁS, 2002

Cor de queima

A cor avermelhada, característica do produto, é resultante principalmente da oxidação dos compostos de ferro que se apresentam sob a forma de óxido férrico, a intensidade da coloração depende da quantidade de óxido férrico presente, enquanto que a uniformidade depende da distribuição granulométrica. O vermelho escuro se manifesta com 4 % de Fe_2O_3 . Os óxidos de cálcio e de magnésio, derivados da dissociação do calcário, tendem a combinar-se com o ferro presente, formando silicatos duplos de ferro e cálcio de coloração branca e creme (MACEDO, 2007).

3.5. Utilização de resíduos na indústria cerâmica

Na literatura são citados vários resíduos industriais absorvidos pela indústria cerâmica como, por exemplo, os da mineração, da indústria de celulose e papel, metalurgia, siderurgia, galvanoplastia e lodos de estações de tratamento de água e de efluentes etc. que têm utilização cada dia maior como matéria-prima alternativa. (MENEZES et al., 2002).

Dentro desse contexto, o trabalho desenvolvido por Amorim (2007) prova que a utilização de dregs em argila para a fabricação de tijolos é recomendada em uma proporção de mistura de até 20% do resíduo em relação à matéria-prima.

Araújo (2008) estudou a influência da incorporação de 25 % de lodo de esgoto à massa para produção de corpos cerâmicos onde obteve resultados satisfatórios para produção de telhas com temperatura de queima 1200 °C.

Lopes (2005) em seu estudo utilizou formulações de 5, 10, 15 e 20 % de adição pó de fumo à massa cerâmica para obtenção de tijolos maciços, blocos e telhas. Os resultados mostraram que formulações de até 15 % atenderam aos requisitos da norma.

Campregher (2005) concluiu em seu trabalho que a adição de até 10 % de lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de celulose, papel e aparas à massa cerâmica é possível obter produtos com propriedades que atendem as normas brasileiras de produtos cerâmicos.

Silva (2007) obteve resultados satisfatórios em todas as composições estudadas de adição de rejeitos da construção civil à massa cerâmica. Sendo possível a adição de até 50 % de resíduo nas massas cerâmicas sem grandes perdas na resistência mecânica, apresentando melhores resultados para a incorporação de 30 % de resíduo na massa para fabricação de telhas e tijolos.

Mello (2006) em seu estudo obteve resultados que mostraram a viabilidade do aproveitamento de lama residual de marmoraria na fabricação de produtos de cerâmica vermelha com adição de até 40% de lama com granito e 16 % com concentração de mármore.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo foi fornecido pela Whirlpool SA. Às amostras foram retiradas de tambores de coleta do lodo após serem prensados.

4.1. Classificação do lodo

A análise foi realizada na empresa Orgânica Laboratório de Análises Químicas Ltda., localizada em Jaraguá do Sul – Santa Catarina.

Uma primeira análise foi realizada com o resíduo a fim de obter sua classificação conforme a norma ABNT NBR10004/04.

Os procedimentos de análises estão baseados nas normas descritas pela NBR 10004/04, 10005/04, 10006/04.

Para todos os elementos estudados, foram realizadas preparação e abertura da amostra separadamente, como é descrito no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 20th Edition.

4.2. Caracterização do lodo

4.2.1. Fluorescência de raios X (FRX)

Para identificar a presença e a quantidade de elementos importantes a composição da massa cerâmica como: dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido potássico (K_2O), óxido férrico (Fe_2O_3), óxido de sódio (Na_2O), dióxido

de titânio (TiO_2), foi utilizado a técnica de FRX. O equipamento utilizado foi um Shimadzu modelo EDX-700.

4.2.2. Difração de raios X (DRX)

Os dados obtidos pela difração de raios X são usados principalmente com a finalidade de identificação da estrutura cristalina, ou seja, para estudos qualitativos, pois cada difratograma é único, podendo ser associado a uma determinada estrutura cristalina, uma vez que a maioria das substâncias, com algumas exceções, possui parâmetros estruturais diferentes (SILVA, 2006).

Para identificação da estrutura cristalina do resíduo, foi utilizado o difratômetro Shimadzu (XDR 6000) com tubo de raios X de cobre, voltagem 40 kV e corrente 30 mA. A leitura foi realizada no eixo de direção 2θ , entre 5° e 80° com velocidade de $2^\circ/\text{min}$.

4.2.3. Análises térmicas (TGA e DSC)

Para entender o comportamento térmico da amostra de lodo, já que a base do processo de fabricação de cerâmica está condicionada a queima, foram utilizadas as técnicas de análise termogravimétrica (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). As curvas obtidas foram tratadas pelo software ®Proteus Netzsch.

Termogravimetria (TGA) e Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As análises térmicas foram conduzidas em um equipamento Netzsch – Gerätebau GmbH Thermal Analysis Proteus. A amostra de lodo de 28,55 g foi

aquecida em um cadinho de alumina de 30 a 1200 °C sob atmosfera de argônio a 10 °C /min.

4.3. Confeccção dos corpos de prova

Os corpos de prova com mistura de lodo de ETE e massa argilosa foram confeccionados para realização dos ensaios físico-mecânicos.

4.3.1. Preparação das misturas de lodo com argila

O lodo da ETE foi primeiramente esmagado com as mãos para desfazer os torrões e submetido a uma secagem de 48 horas em estufa a 110 °C. Após a secagem, o lodo foi moído apenas para desfazer os torrões. Posteriormente, o lodo foi homogeneizado manualmente durante 20 minutos e uma parte separada para realização dos ensaios de granulometria.

Para confeccionar os corpos de prova de cada uma das misturas, foi moído 100 g de lodo até que fosse possível atingir uma medida granulométrica 100 % inferior a 0,084 mm.

Após a moagem, foram confeccionadas amostras com incorporação de lodo em argila de 10, 15 e 20 %.

Cada mistura de lodo da ETE foi acondicionada em sacos plásticos com capacidade para 1 kg, logo após submeteu-se a um processo de homogeneização por 20 minutos, em seguida colocou-se 10 % de água em cada mistura, para umidecer a mistura. Logo após, as amostras passaram por uma peneira de abertura de 0,084 mm, para desfazer totalmente os torrões de lodo que ainda poderiam existir, e novamente homogeneizado por 20 minutos.

4.3.2. Conformação dos corpos de prova

Cada uma das misturas de lodo com argila foram extrudadas e cortadas de modo que ficassem com as seguintes características geométricas:

Largura: 23 mm

Comprimento: 93 mm

Altura: 7 mm

4.4. Ensaio físicos mecânicos

4.4.1. Umidade de extrusão

Para determinação da umidade de extrusão – UE foi utilizado corpos de prova, antes da secagem, com concentrações de 10 %, 15 % e 20 % de resíduo misturado à argila. A massa dos corpos de prova foram medidas em balança com precisão de 0,01g. Os corpos de prova em seguida foram levados a estufa a 110 °C e mantidos até que obtivessem massa constante. A figura 16 apresenta as etapas para obtenção da umidade de extrusão:

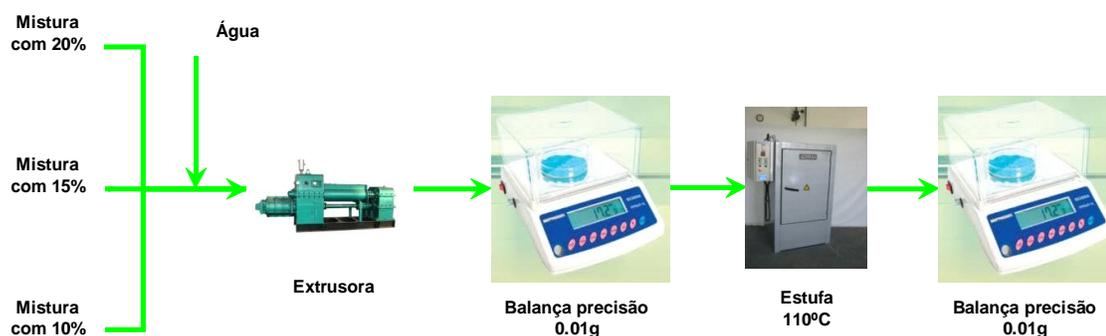


Figura 16 – Procedimento utilizado para determinação da umidade de extrusão

O cálculo de UE é feito utilizando-se a equação 4.4:

$$UE(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_u} \times 100 \quad (4.4)$$

Onde:

M_u = Massa do corpo de prova após-extrusão (g)

M_s = Massa do corpo de prova seco a 110 °C (g)

4.4.2. Técnica de classificação da plasticidade da massa cerâmica

A classificação das formulações de resíduo com argila quanto à plasticidade foi avaliada de acordo com as normas ABNT NBR 6459/84 e 7180/84, através da determinação dos Índices de Atterberg: Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP) e do Gráfico de Plasticidade de Casagrande, realizados no Laboratório do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) unidade Criciúma/SC.

A preparação das amostras foi feita conforme ABNT NBR 6457/86, a partir da secagem prévia que consiste em: secar ao ar, destorroar, repartir, passar na peneira de 0,42 mm, de maneira a se obter aproximadamente 200 g peneirado. Esta amostra, assim obtida, foi utilizada nos ensaios de limite de liquidez e de plasticidade.

Limite de liquidez

A determinação do limite de liquidez foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 6459/84.

Para a determinação do limite de liquidez - LL foi utilizado o Método de Casagrande. Uma porção da amostra de aproximadamente 100 g de cada uma das amostras de 10, 15 e 20 % misturadas com argila foi colocada em um recipiente adequado para homogeneização onde foi adicionada água aos poucos de forma a se obter uma pasta bem homogênea. Parte da pasta homogênea foi transferida para a concha que, na palma da mão, teve sua superfície acertada com a espátula, de maneira a se conseguir aproximadamente 10 mm de espessura na parte mais profunda, preenchendo 2/3 do diâmetro da concha. Durante esta operação evitou-se a formação de bolhas de ar na pasta dentro da concha.

Com o cinzel perpendicular abriu-se uma ranhura na pasta na parte central. Nesta operação o pincel deve permanecer normal à concha. Recolocado a concha no aparelho, cuidadosamente, e girando a manivela a razão de duas voltas por segundo contar o número de golpes, da concha na base, necessário para fechar as bordas inferiores da ranhura. Depois de determinado o teor de umidade da pasta onde as bordas da ranhura se uniram, transferiu-se a pasta restante na concha para um recipiente adequado para homogeneização da pasta, misturando com o já existente e acrescentando água destilada. Repetiu-se o processo até que se obteve cinco pares de valores, teor de umidade versus N° de golpes, abrangendo o intervalo aproximado de 15 a 35 golpes. Com os resultados obtidos, construiu-se um gráfico no qual as abscissas são os teores de umidade (em escala aritmética) e as ordenadas correspondentes são os números de golpes (em escala logarítmica) e ajustou-se uma reta pelos pontos assim obtidos cujo teor de umidade correspondente a 25 golpes, foi considerado como sendo o limite de liquidez do solo.

Limite de plasticidade

A determinação do limite de plasticidade foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 7180/84.

Para cada uma das formulações de 10, 15 e 20 % foi realizado o seguinte procedimento: Uma amostra de 100 g foi preparada e colocada em cápsula de porcelana. À amostra foi adicionada água destilada em pequenas porções, depois, com o uso de uma espátula, amassada e misturada até que o material se tornasse

uma pasta homogeneizada de consistência plástica. O tempo total de homogeneização deve ser de 15 a 30 min.

Desta massa homogênea, cerca de 10 g foram usados para formar uma massa que foi conformada em cilindro em uma placa de vidro até atingir um diâmetro de 3 mm e um comprimento de aproximadamente 10 cm. Quando o cilindro da amostra fissurou antes que alcançasse esse diâmetro, recolocou-se a massa na cápsula de porcelana, adicionou-se água destilada e homogeneizou-se pelo menos durante dois minutos novamente. O processo foi repetido até que se alcançaram simultaneamente as dimensões da Norma com a presença de fissura. Quando ambos os requisitos foram satisfeitos, determinou-se o teor de umidade da amostra. A ABNT NBR 7180/84 exige que o resultado do LP seja a média aritmética de no mínimo três valores sendo que estes não podem estar fora de uma faixa de $\pm 5\%$ desta mesma média, reduzindo assim a influência do operador. Desta forma, realizaram-se cinco determinações e dos resultados obtidos foram considerados aqueles cujos valores de umidade obtidos não diferiram da média em mais que 5%.

Preparação das amostras

conforme ABNT NBR 6457/86

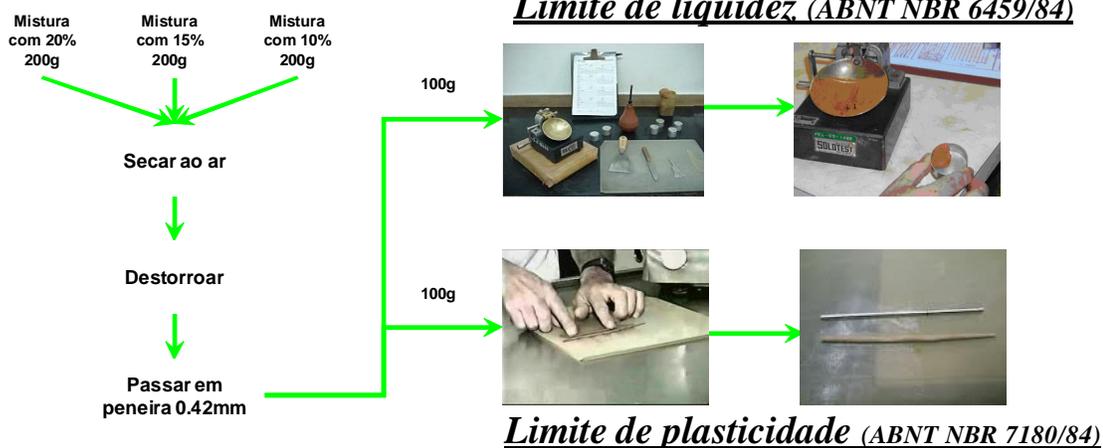


Figura 17 - Procedimento utilizado para determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade

Índice de plasticidade

A determinação do índice de plasticidade foi obtida subtraindo-se o limite de liquidez com o limite de plasticidade conforme equação 4.5:

$$IP = LL - LP \quad (4.5)$$

Onde:

IP = Índice de plasticidade

LL = Limite de liquidez

LP = Limite de plasticidade

4.4.3. Granulometria

A determinação da distribuição granulométrica de cada formulação foi realizada via úmida e da seguinte forma: foram retirados 200 g da amostra e secada em estufa a 110 °C até massa constante. Adicionou-se água o suficiente para se formar uma lama que com a mão foi misturado até que o material fica-se com uma desagregação apreciável. Este material foi transferido para uma peneira de abertura 0,063 mm (# 250 Mesh) com cuidado para não haver perda do material. Com um jato de água o material na peneira foi lavado até que a água passando através da peneira não tivesse traços da amostra. O resíduo lavado na peneira foi transferido com auxílio do jato de água e de uma espátula para um recipiente metálico apropriado para permitir que a água acumulada fosse escorrida durante a transferência. O material então foi seco e misturado com auxílio de um bico de Meker e uma espátula respectivamente. Após ter resfriado ao ar livre, o material foi transferido para o conjunto de peneiras de # 16, 32, 60, 115 e 250 Mesh e levado ao vibrador elétrico. O potenciômetro do aparelho foi regulado para posição 7 e o material então peneirado durante 5 minutos. Após este procedimento o material

retido em cada uma das peneiras, inclusive o passante, foi pesado em balança com precisão de 0,01 g.

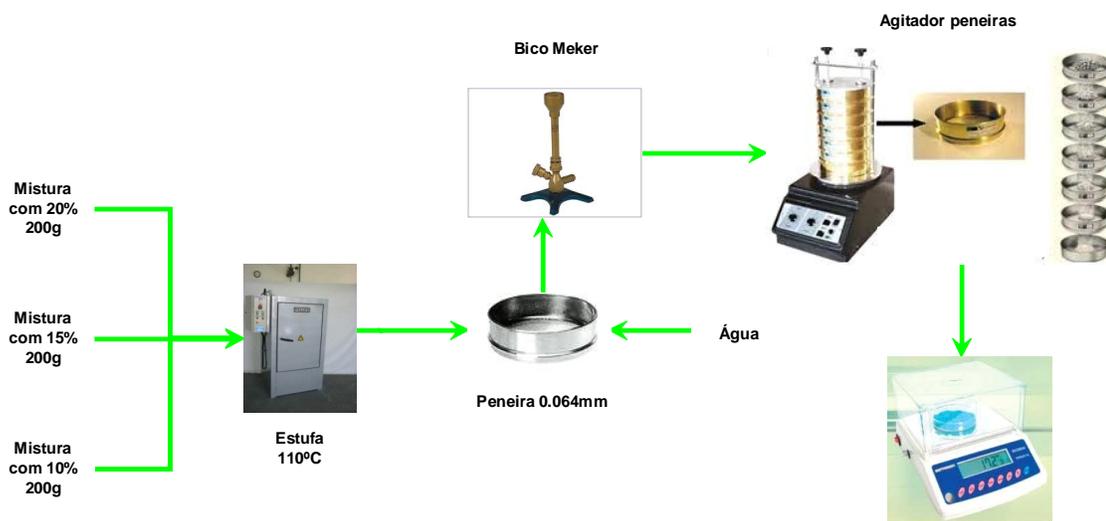


Figura 18 - Procedimento utilizado para determinação da granulometria

O resultado da distribuição granulométrica foi expresso em porcentagem de material retido em cada peneira utilizada no ensaio. O seu cálculo é obtido através da equação 4.6:

$$\%M_f = \frac{M_1}{M_f} \cdot 100 \quad (4.6)$$

Onde:

$\%R_1$ = Porcentagem retida na peneira de abertura (%)

M_1 = Massa retirada na peneira de abertura (g)

M_f = Soma das massas retiradas nas peneiras e no fundo (g)

4.4.4. Retração linear de secagem

Para obtenção da porcentagem de retração linear de secagem, os corpos de prova de cada uma das formulações de 10, 15 e 20 % de resíduo incorporado a

argila foi medido com paquímetro e a massa em balança de precisão 0.01 g. Em seguida os corpos de prova foram levados a estufa a 110 °C para secagem até massa constante.

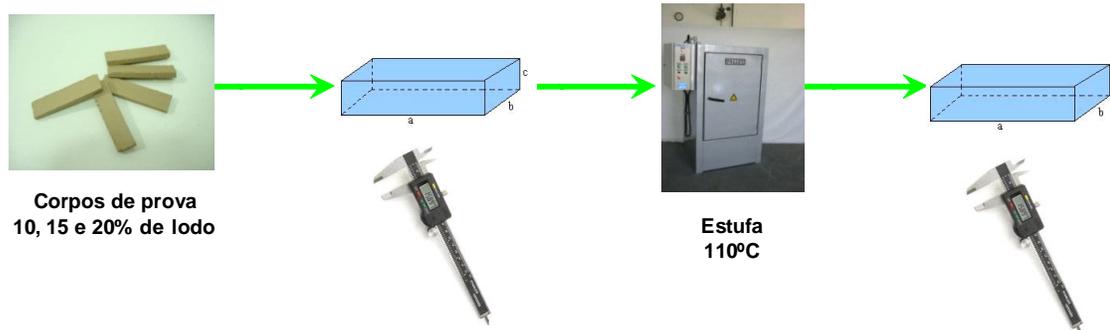


Figura 19 - Procedimento utilizado para determinação da retração linear de secagem

O percentual de retração de secagem foi calculado através da equação 4.7:

$$\%RL_s = \frac{(L_u - L_s)}{L_u} \cdot 100 \quad (4.7)$$

Onde:

$\%RL_s$ = Retração linear de secagem (%)

L_u = Comprimento do corpo de prova úmido (mm)

L_s = Comprimento do corpo de prova após secagem (mm)

4.4.5. Resistência à compressão

Para determinação da resistência a compressão o ensaio foi realizado baseando-se na norma ABNT NBR 15270-3/05. Com exceção dos outros ensaios físicos mecânicos, este teste foi realizado nas dependências do laboratório físico químico da Whirlpool SA.

Os corpos de prova com incorporação de 10, 15 e 20 % de lodo sinterizados em temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C foram medidos e suas dimensões registradas, após foram mergulhados em água e ali permaneceram por um tempo não inferior a 6 h. Os corpos de prova foram secos de forma superficial e posicionados na prensa de modo que o seu centro de gravidade atuasse no eixo de carga do prato.

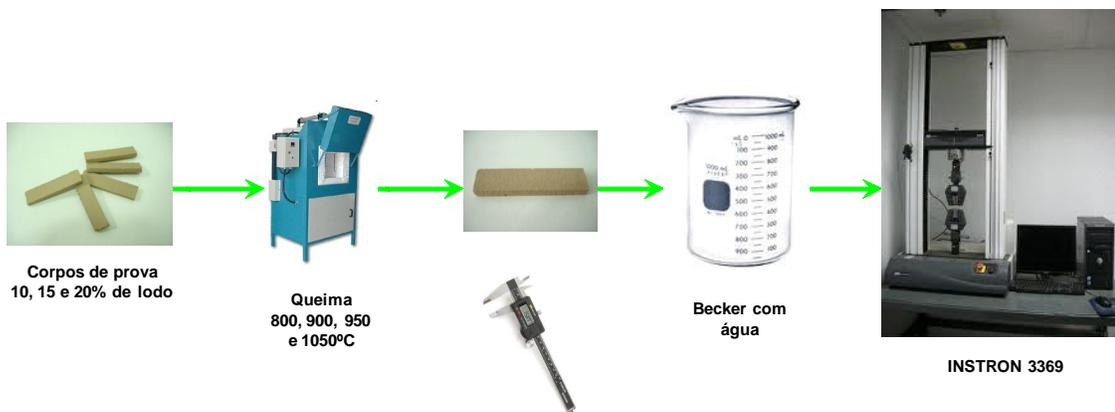


Figura 20 - Procedimento utilizado para determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão foi obtida pela equação 4.8.

$$R_c = \frac{C_r}{A_b} \quad (4.8)$$

Onde:

R_c = Resistência à compressão (MPa)

C_r = Carga atingida no momento da ruptura (em N)

A_b = Média das áreas brutas das duas faces de trabalho (em mm²)

4.4.6. Absorção de água

Para obtenção dos valores de absorção de água, foi utilizada a norma ABNT-NBR 15270-3/05.

Os corpos de prova de cada uma das formulações, sinterizados em temperatura de 800, 900, 950 e 1050 °C a uma taxa de aquecimento de 5 °C/min e patamar de queima de 180 min foram levados a um recipiente contendo água destilada e imersos por 24 horas. Completado o tempo determinado, foi retirado o excesso de água com um pano umedecido, em seguida mediu-se a massa através de balança eletrônica com resolução 0,1 mg.



Figura 21 - Procedimento utilizado para determinação da absorção de água

O valor da absorção de água para cada temperatura de queima ligado a sua formulação foi obtido a partir da média aritmética de 5 medições individuais conforme a equação 4.9:

$$\%AA = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \cdot 100 \quad (4.9)$$

Onde:

%AA = Absorção de água (%)

M_u = Massa do corpo de prova úmido (g)

M_s = Massa do corpo de prova após a secagem a 110 °C (g)

4.4.7. Retração linear de queima

Foram determinados o comprimento, largura e altura de cada corpo de prova, registrando-se os valores. Posteriormente, essas amostras foram subdivididas e

submetidas a temperaturas de queima 800, 900, 950 e 1050 °C a uma taxa de aquecimento de 5 °C/min e patamar de queima de 180 min. Concluído o ciclo de queima os corpos de prova, voltaram a ser medidos e seus valores registrados.

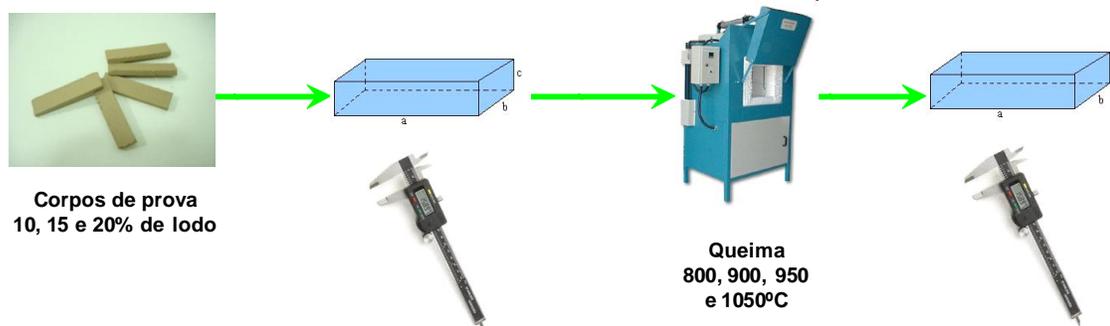


Figura 22 - Procedimento utilizado para determinação da retração linear de queima

O percentual de retração linear de queima foi calculado através da equação 4.10:

$$\%RL_q = \frac{(L_s - L_q)}{L_s} \times 100 \quad (4.10)$$

Onde:

$\%RL_q$ = Retração linear de queima (%)

L_s = comprimento do corpo de prova seca (mm)

L_q = comprimento do corpo de prova após queima (mm)

4.4.8. Massa específica aparente e porosidade aparente

A massa específica aparente e a porosidade aparente dos corpos de prova queimados foram determinadas de acordo com a norma NBR 6220/89.

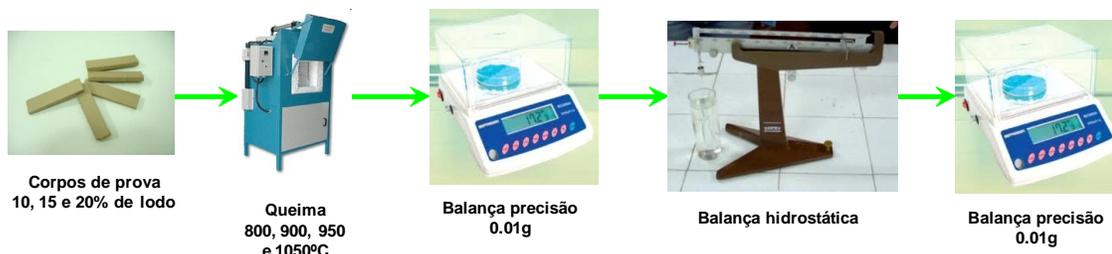


Figura 23 - Procedimento utilizado para determinação da massa específica aparente e porosidade aparente

Para determinação da massa específica aparente, foi necessário obter a relação entre a massa de cada corpo de prova e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros (volume total). Após a queima nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C a uma taxa de aquecimento de 5 °C/min e patamar de queima de 180 min, foi utilizada para cálculo da massa específica aparente a equação 4.11 como segue:

$$MEA = \frac{M_q}{M_u - M_i} \quad (4.11)$$

Onde:

MEA = Massa específica aparente do corpo de prova (g/cm³)

M_q = Massa do corpo de prova após queima (g)

M_u = Massa do corpo de prova saturado (g)

M_i = Massa do corpo de prova imerso (g)

A porosidade aparente dos corpos de prova queimados foi calculada através da média de cinco determinações e utilizando-se a equação 4.12:

$$PA(\%) = \frac{(M_u - M_q)}{(M_u - M_i)} \cdot 100 \quad (4.12)$$

Onde:

$PA(\%) = \text{Porosidade aparente } (\%)$

$M_q = \text{Massa do corpo de prova após queima } (g)$

$M_u = \text{Massa do corpo de prova saturado } (g)$

$M_i = \text{Massa do corpo de prova imerso } (g)$

4.4.9. Perda ao fogo

A preparação das amostras contendo 10, 15 e 20 % de resíduo incorporado à argila foi feita colocando-as em estufa a 110 °C e deixados até que não obtivessem mais variação de massa. Em uma balança analítica previamente tarada, o cadinho vazio foi pesado e registrado sua massa. Acrescentou-se ao cadinho de 1,5 a 2 g da amostra retirada da estufa, mediu-se sua massa e registrou-se novamente de cada um das amostras. Para determinação da perda ao fogo o cadinho com as amostras foram colocados em forno mufla até as seguintes temperaturas: 800, 900, 950 e 1050 °C a uma taxa de aquecimento de 5 °C/min e patamar de queima de 180 min. Depois de retirado do forno mufla, o cadinho foi colocado sobre a placa refratária até perder a incandescência, seguindo para o dessecador até o esfriamento. Posteriormente, foi medida a sua massa final.

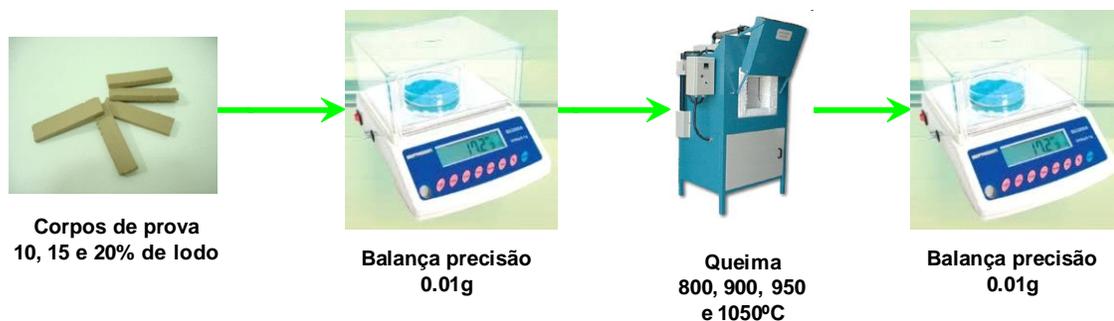


Figura 24 – Procedimento utilizado para determinação da perda ao fogo

A perda ao fogo foi calculada pela Equação 4.13:

$$PF(\%) = \frac{(C + A) - (\text{MassaFinal})}{(C + A)} \cdot 100 \quad (4.13)$$

Onde:

PF(%) = Perda de massa ao fogo (%)

C = Massa do cadinho (g)

A = Massa da amostra antes da queima(g)

MassaFinal = Massa após queima (g)

4.4.10. Cor de queima

Os corpos de prova, com concentrações de 10, 15 e 20 % de lodo na argila foram queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C e inspecionados visualmente. As cores identificadas estão apresentadas no item 5.5.11.

Totais de corpos de prova ensaiados

Tabela 4 - Totais de corpos de prova utilizados em cada ensaio

ENSAIO	nº corpos de prova	nº formulações (10, 15 e 20 %)	nº temperaturas de queima (800, 900, 950 e 1050 °C)	Total
Umidade de extrusão	5	3	-	15
Plasticidade	1	3	-	3
Granulometria	1	3	-	3
Retração linear de secagem	5	3	-	15
Resistência à compressão	5	3	4	60
Absorção de água	5	3	4	60
Retração linear de queima	5	3	4	60
Massa específica aparente	5	3	4	60
Porosidade aparente	5	3	4	60
Perda ao fogo	5	3	4	60
Cor de queima	5	3	4	60
			Total geral	456

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Classificação do resíduo

A Tabela 5 mostra resultados dos testes de lixiviação e massa bruta do resíduo e a Tabela 6 mostra resultados do teste de solubilização do resíduo. De acordo com o laudo técnico emitido pela Orgânica - Laboratório de Análises Químicas Ltda., o resíduo é classificado como não inerte Classe II, de acordo com a ABNT NBR 10004/04, pois a concentração de alumínio no extrato solubilizado ficou acima do máximo permitido pela norma.

Tabela 5 – Resultado das concentrações do extrato lixiviado e massa bruta da amostra de lodo

Parâmetros	Limite Máximo do Lixiviado	Extrato Lixiviado mg/L	Limite Máximo Massa Bruta	Massa Bruta mg/Kg
Arsênio e compostos	1,0 mg/L	ND	--	--
Bário	70,0 mg/L	2,0	--	--
Cádmio	0,5 mg/L	0,0052	--	--
Chumbo	1,0 mg/L	0,046	--	--
Cianeto (Liberável)	mg/L	0,096	250,0 mg/Kg	1,92
Cromo Total	5,0 mg/L	0,012	--	--
Fluoreto	150,0 mg/L	0,23	--	--
Mercúrio	0,1 mg/L	ND	--	--
Prata	5,0 mg/L	0,0047	--	--
Selênio	1,0 mg/L	0,0013	--	--
Sulfeto (liberável)	mg/L	0,1	500,0 mg/Kg	2,0

ND – Não detectado

Tabela 6 – Resultado da concentração do extrato solubilizado da amostra de lodo

Parâmetros	Limite Máximo do Solubilizado	Média dos Valores Encontrados
Alumínio	0,2 mg/L	4,45
Arsênio	0,01 mg/L	ND
Bário	0,7 mg/L	0,1
Cádmio	0,005 mg/L	0,0021
Chumbo	0,01 mg/L	0,0095
Cianeto	0,07 mg/L	0,007
Cloreto	250,0 mg/L	16,6
Cobre	2,0 mg/L	0,011
Cromo Total	0,05 mg/L	0,036
Fenol	0,01 mg/L	ND
Ferro Total	0,3 mg/L	0,17
Fluoreto	1,5 mg/L	0,065
Heptacloro e seu epóxido	$3,0 \times 10^{-5}$	ND
Hexaclorobenzeno	$1,0 \times 10^{-3}$	ND
Manganês	0,1 mg/L	0,07
Mercúrio	0,001 mg/L	ND
Nitrato (expresso em N)	10,0 mg/L	1,6
Prata	0,05 mg/L	0,004
Selênio	0,01 mg/L	0,001
Sódio	200,0 mg/L	27,0
Sulfato (expresso em So_4)	250,0 mg/L	48,0
Surfactantes	0,5 mg/L	ND
Zinco	5,0 mg/L	0,01

ND – Não detectado

A indicação apresentada em negrito na Tabela 6 mostra a concentração de alumínio acima do limite recomendado para material solubilizado, e pode ser atribuída a dosagem de policloreto de alumínio adicionada durante o processo físico químico de coagulação.

5.2. Fluorescência de raios X

A análise química por fluorescência de Raios X é apresentada na Tabela 7 e mostra um alto teor de óxido de alumínio (Al_2O_3) justificando a grande presença do elemento alumínio apresentado no laudo da Tabela 6. Mas também vale ressaltar a presença em baixas concentrações do dióxido de silício (SiO_2) e o monóxido de potássio (K_2O). Estes óxidos são provenientes do processo de desengraxe alcalino onde são adicionados o silicato de sódio (Na_2SiO_3) e o hidróxido de potássio (KOH) para remoção das graxas e gorduras da superfície do metal.

Tabela 7 - Composição química do lodo da ETE

COMPOSIÇÃO	(%)
Al_2O_3	98,923
SiS_2	0,415
SiO_2	0,398
K_2O	0,159
Fe_2O_3	0,036
CaO	0,030
Cr_2O_3	0,018
ZnO	0,008
MnO	0,007
CuO	0,006

5.3. Difração de raios X

O difratograma do lodo da ETE é apresentado na Figura 25.

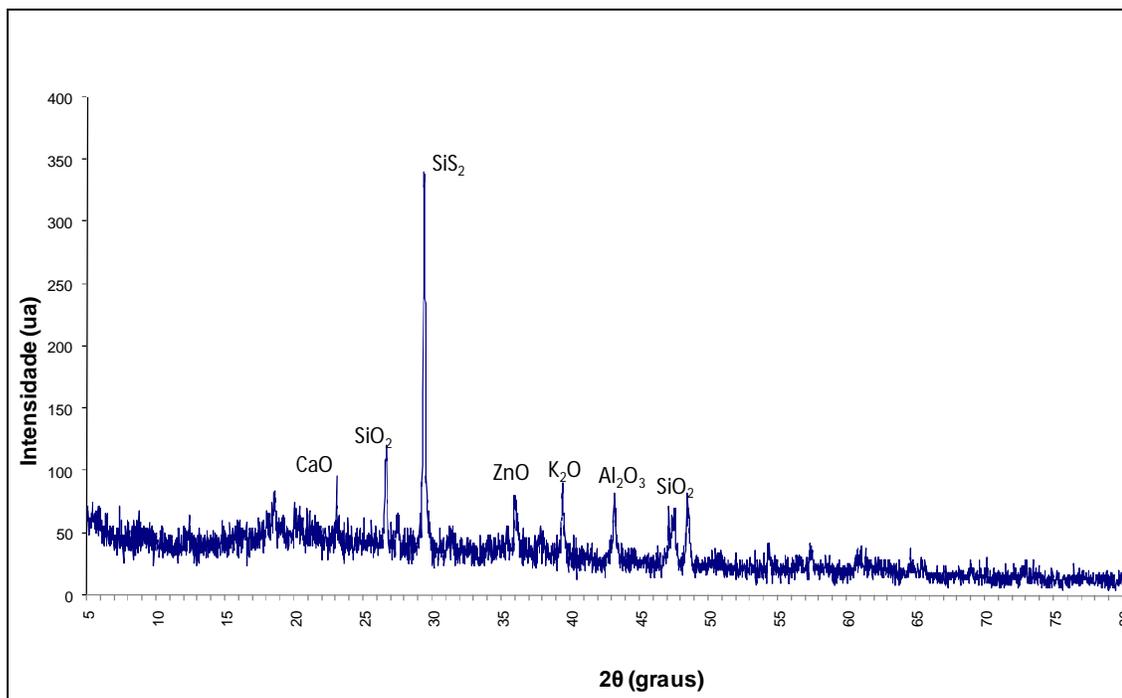


Figura 25 – Espectro da difração de Raio X da composição do lodo

O difratograma do lodo apresenta picos característicos de fase cristalina, podendo-se dizer que há cristais de alumina (Al_2O_3) e quartzo (SiO_2). Observa-se ainda a ocorrência da cal (CaO) utilizada para redução do pH no tratamento físico químico, disulfeto de silício (SiS_2), monóxido de zinco ou calamina (ZnO) proveniente do processo nanocerâmico e óxido de potássio (K_2O). Os minerais identificados foram comparados com padrões do banco de dados do International Center for Diffraction Data – ICDD.

5.4. Análise térmica

Os resultados obtidos foram analisados com o software de análise térmica e os dados plotados na Figura 26 com as análises de termogravimetria (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC).

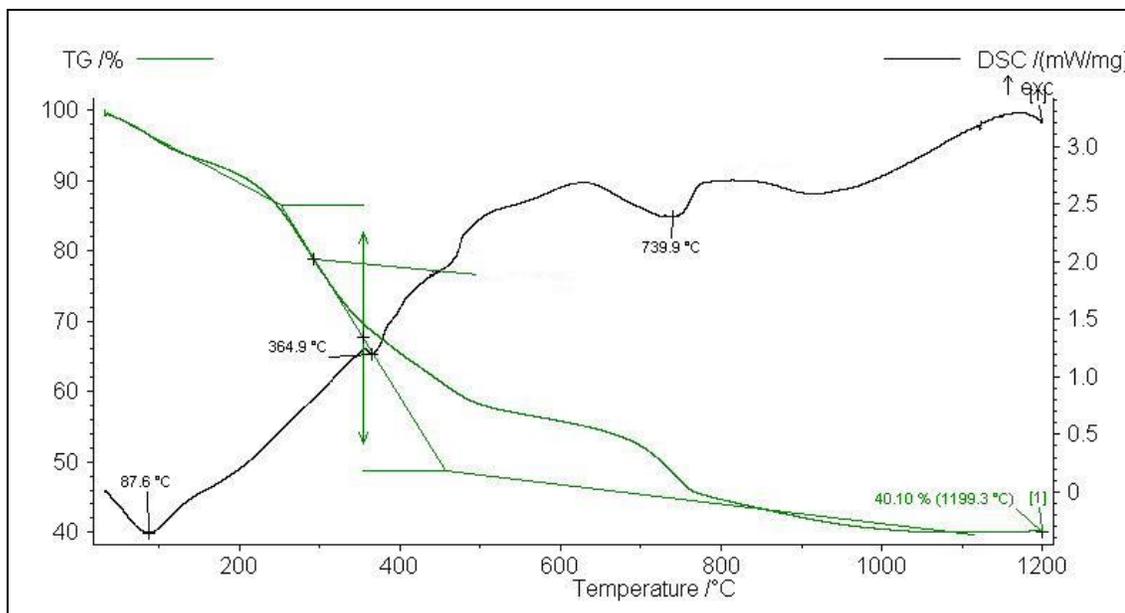


Figura 26 – Análise termogravimétrica e calorimetria exploratória diferencial da amostra de lodo

A curva TG observada na Figura 26 mostrou que houve uma perda total de massa, do resíduo lodo, de 60 % até a temperatura de 1035 °C, a partir desta temperatura a massa permaneceu constante. Na temperatura de 125 °C houve um pico endotérmico em 87 °C resultando na perda de 6 % de massa, associado à eliminação da água livre contida no lodo. Porém na temperatura de 252 °C (T_{onset}) temos início da perda de massa mais expressiva, até a temperatura de 457 °C, resultando em 37,6 % de perda em massa, associado à decomposição da matéria orgânica presente na amostra de lodo. Outro pico endotérmico foi identificado na temperatura de 740 °C, entre as temperaturas de 694 e 766 °C onde a perda de massa foi de 6 % e pode ser atribuída a decomposição de carbonatos presentes na amostra. Acima de 1100 °C não houve perda significativa de massa.

Os resultados obtidos da análise térmica acima se assemelham por trabalhos publicados por outros autores:

Nascimento (2007), em sua caracterização de lodo da indústria de galvanização a fogo, apresenta na análise termogravimétrica, a perda de massa de 10% devido à evaporação de água a 90 °C, e perda de 24% de massa pela presença de matéria orgânica até 670°C.

Bitencourt (2004) obteve, em sua análise termogravimétrica com resíduo, eventos de perda de massa na temperatura de 120 °C e entre 120 °C e 400 °C devido à evaporação de água superficial e a decomposição da matéria orgânica respectivamente.

Capana *et. al.* (2006) em sua caracterização térmica de lodo de esgoto sanitário, obteve perda de 5 % de massa apresentado em 80 °C relacionado à evaporação de água residual da amostra. Além disto, outros dois eventos de perda de massa foram constatados, o primeiro de 30 % (282 °C) e outro de 43 % (502 °C) referente a queima da matéria orgânica presente na amostra.

5.5. Ensaio físicos mecânicos

5.5.1. Umidade de extrusão

Duarte (2008) em seu estudo de adição do lodo de esgoto na massa cerâmica para fabricação de tijolos maciços recomenda que a umidade ideal para extrusão da massa cerâmica deve ficar entre 10 e 30 %. A Figura 27 apresenta as umidades de extrusão encontradas durante o ensaio.

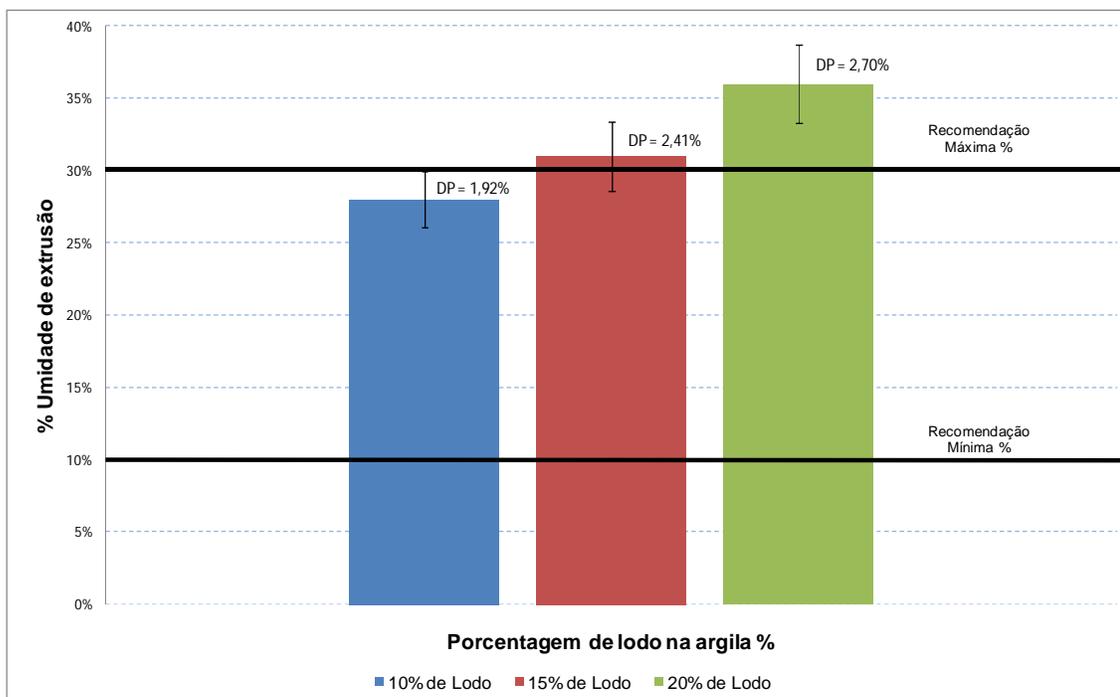


Figura 27 – Umidade de extrusão média dos corpos de prova

Apenas a composição de 10 % de lodo na argila alcançou resultados dentro dos limites recomendados.

Rodrigues (2002) afirma que as peças cerâmicas com excesso de umidade de extrusão podem acarretar em trincas durante o processo de secagem. A Figura 28 apresenta a imagem dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo após o processo de secagem.

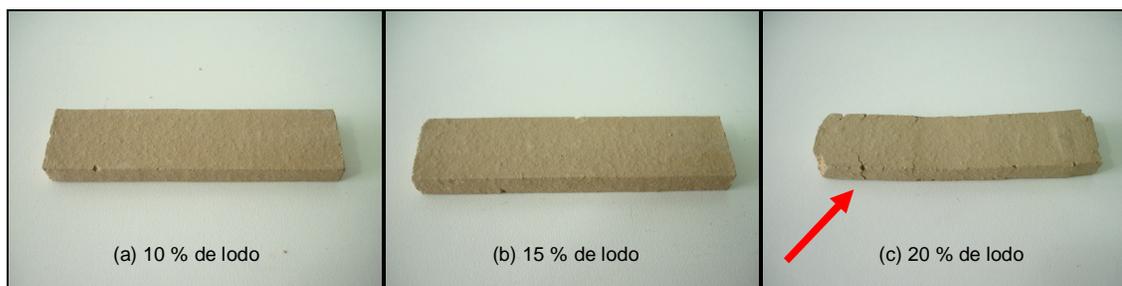


Figura 28 – Fotografias dos corpos de prova com incorporação de lodo após o processo de secagem: (a) 10 % de lodo, (b) 15 % de lodo e (c) 20 % de lodo. A seta mostra a presença de trinca.

Como pode-se observar na Figura 28, as composições de 10 e 15 % de lodo se apresentaram sem trincas ou deformações após o processo de secagem. Embora a composição de 15 % não ter atingido o limite máximo recomendado, pode-se assumir, pelo seu resultado muito próximo (31 %) do limite, esta composição não

influenciou significativamente na peça a ponto de gerar falhas. Já os corpos de prova com 20 % de lodo se apresentaram com deformações, trincas e arestas quebradiças devido ao seu alto teor de umidade (36 %).

5.5.2. Classificação da plasticidade da massa cerâmica

A Tabela 8 relaciona a plasticidade das formulações de lodo com argila avaliada através dos limites de Atterberg; limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP).

Tabela 8 - Dados de limite de liquidez, limite de plasticidade e índice plasticidade para os corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo incorporado à argila.

<i>Formulações (%)</i>	<i>LL (%)</i>	<i>LP (%)</i>	<i>IP (%)</i>	<i>Classificação ABNT</i>
10	40,4	18,9	21,5	Altamente Plástico
15	40,5	21,2	19,3	Altamente Plástico
20	41,4	24,3	17,1	Altamente Plástico

Observa-se que todas as formulações apresentaram índices de plasticidade superiores a 15 %, limite mínimo para uma argila ser considerada altamente plástica segundo Caputo (1998). A elevada plasticidade das composições podem resultar na dificuldade de secagem causando o aparecimento de problemas dimensionais ou até mesmo trincas. Além disso, o tempo de secagem é maior, conseqüentemente, maior gasto energético e redução da produtividade.

5.5.3. Granulometria

Os gráficos relativos às granulometrias das formulações podem ser visualizados nas Figuras 29, 30 e 31.

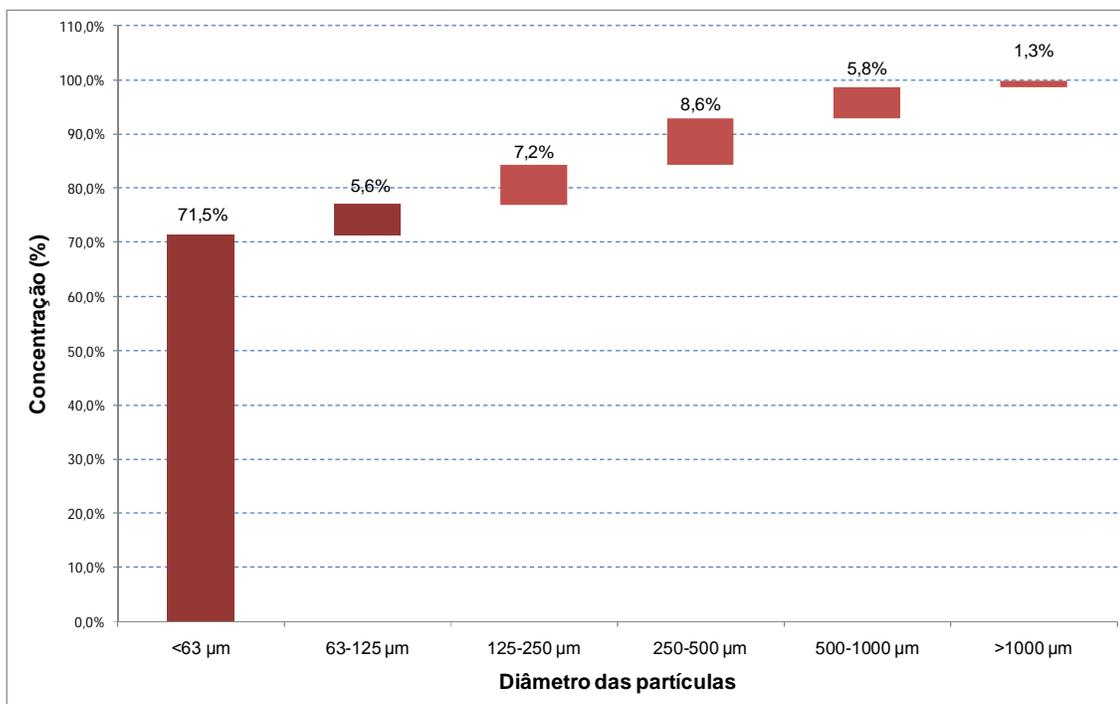


Figura 29 – Porcentagem de material retido nas peneiras com malha de 16, 32, 60, 115 e 250 Mesh com a formulação de 10% de lodo incorporado à argila.

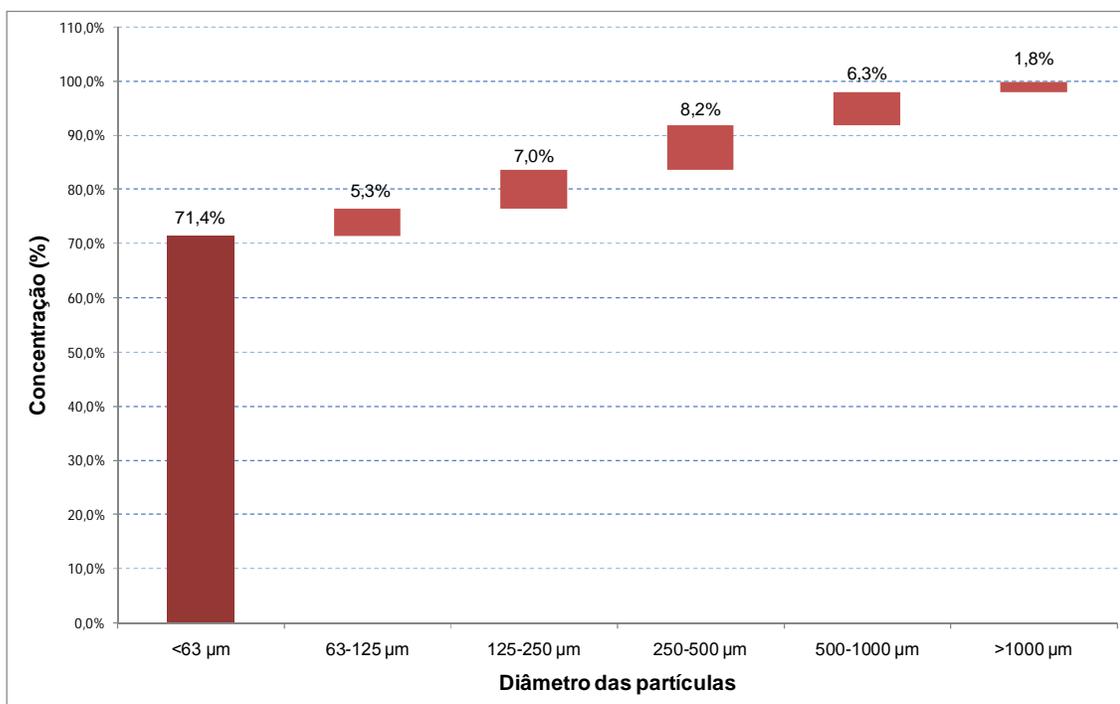


Figura 30 - Porcentagem de material retido nas peneiras com malha de 16, 32, 60, 115 e 250 Mesh com a formulação de 15% de lodo incorporado à argila.

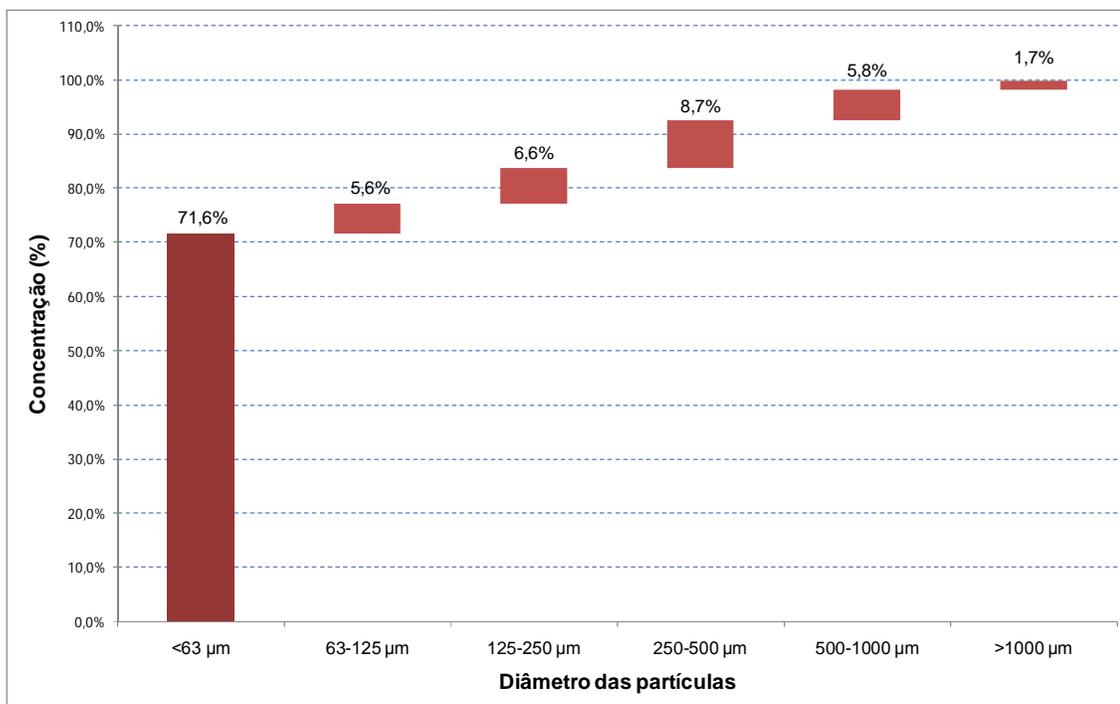


Figura 31 - Porcentagem de material retido nas peneiras com malha de 16, 32, 60, 115 e 250 Mesh com a formulação de 20% de lodo incorporado à argila.

De acordo com os gráficos das figuras 29, 30 e 31 pode-se dizer que as composições de 10, 15 e 20 % apresentam uma granulometria pequena. Compõem-se basicamente de partículas abaixo de 63 μm . Esta granulometria se correlaciona a alta plasticidade observada na tabela 9, pois com concentração maior de grãos finos o material tende a ter mais poros e requer maior quantidade de água para dar trabalhabilidade a massa (umidade de extrusão).

5.5.4. Retração linear de secagem

Recomenda-se que para produção de cerâmica vermelha, os valores de retração linear de secagem sejam inferiores a 6 % (IPT, 1985). A Figura 32 apresenta as retrações lineares de secagem dos corpos de prova em relação à porcentagem de lodo na argila.

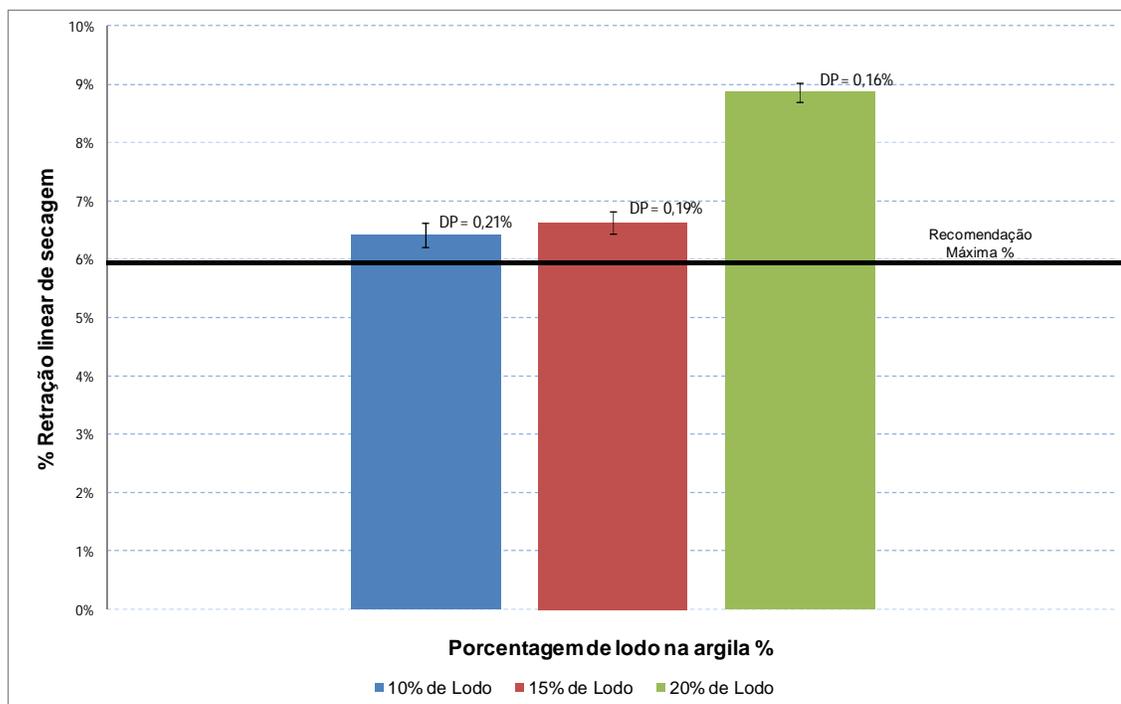


Figura 32 – Retração linear de secagem média dos corpos de prova

Os valores de retração linear de secagem dos corpos de prova com 10,15 e 20 % não atenderam ao limite máximo recomendado como mostra a Figura 32. Entretanto, as composições de 10 % e 15 % se aproximaram bastante do valor recomendado.

Segundo Lopes (2005), os corpos de prova com elevados valores de retração linear de secagem estão associados a grandes variações volumétricas. Nessa condição, a velocidade de secagem (saída de água dos vazios) pode levar a empenamentos (secagem diferencial) e à excessiva concentração de tensões (trincas e fissuras). Contudo, como os materiais possuem uma granulometria fina, sua contração pode ser corrigida pela adição de material arenoso, para a redução da plasticidade e da contração.

5.5.5. Resistência à compressão

Recomenda-se que para produção de tijolos furados, os valores de resistência a compressão tenham como mínimo valor 1.5 MPa para furos com uso na horizontal e 3 MPa para uso na vertical (ABNT NBR 15270-1/05), já os tijolos maciços devem possuir 1,5, 2,5 e 4 MPa para as classes A, B e C, respectivamente (ABNT NBR 7170/83). A Figura 33 apresenta o valor médio das resistências à compressão dos corpos de prova.

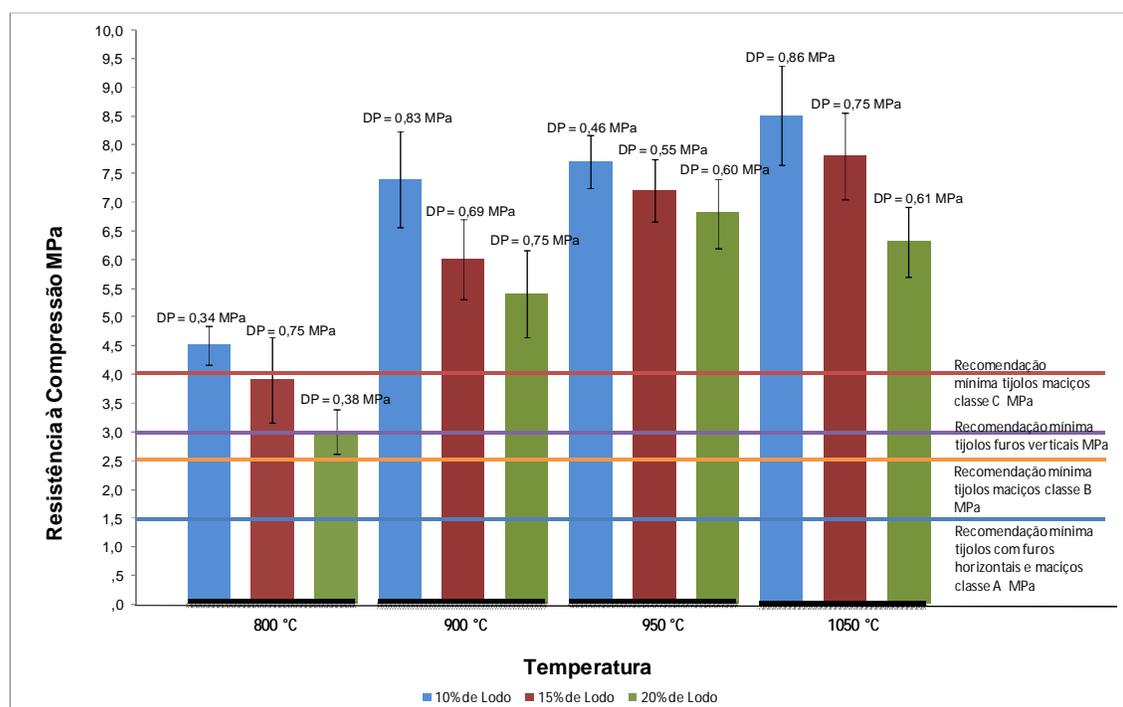


Figura 33 – Resistência a compressão média (Mpa) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C

Pode-se constatar que a resistência mecânica aumentou com o aumento da temperatura de sinterização para os corpos de prova com 10 e 15%. Além disto, quanto menor a quantidade de lodo adicionado na massa maior sua resistência à compressão devido ao menor número de poros abertos pelos compostos carbônicos evaporados e conseqüentemente menor a sua fragilidade.

Realizado a análise estatística pelo teste de Tukey com nível de significância de 5 %, obteve-se o resultado que na temperatura de 950 °C não houve evidencia estatística de influência da composição para esta temperatura. Ou seja, a mudança entre as composições de 10, 15 e 20 % não irá alterar o resultado da resistência a

compressão para a queima a 950 °C. Da mesma forma, outro fator observado foi que as composições de 10 e 15 % queimados a temperaturas de 950 e 1050 °C também não apresentaram diferença estatística.

5.5.6. Absorção de água

Recomenda-se que tijolos furados possuam valores de absorção de água entre 8 a 22 % (NBR 15270-1, 2005). A Figura 34 apresenta o comportamento da absorção de água média dos corpos de prova e suas porcentagens de lodo na argila em função da temperatura de sinterização.

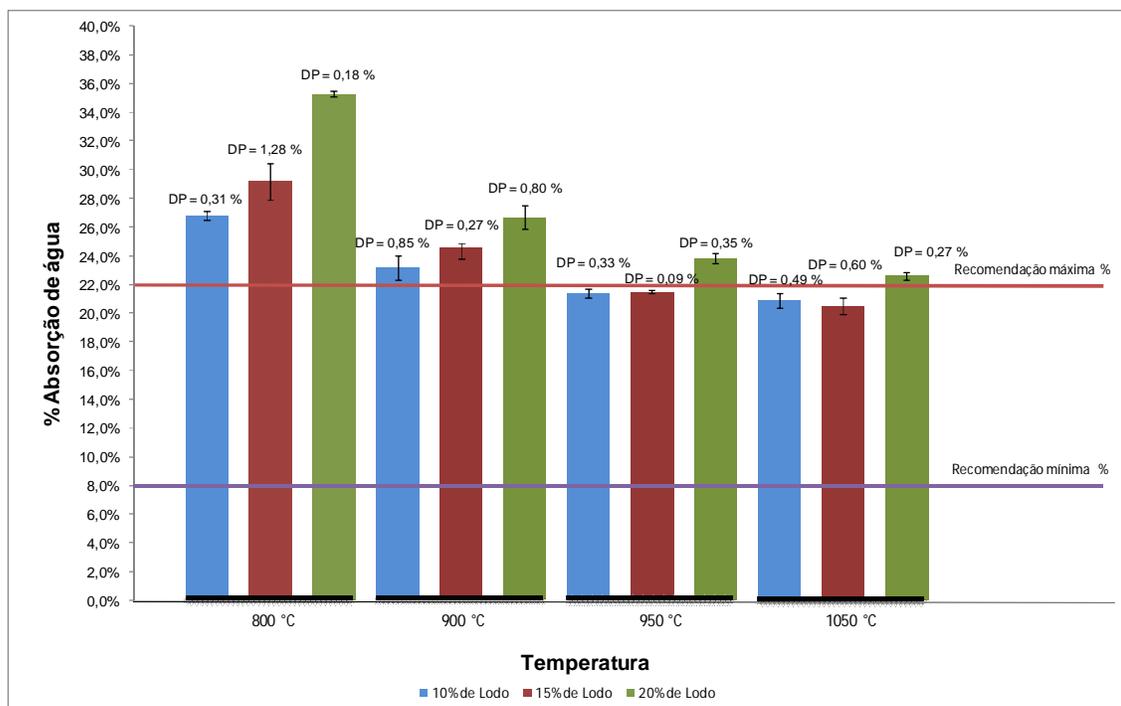


Figura 34 – Absorção de água média (%) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C

O gráfico da Figura 34 mostra que com o aumento da temperatura de sinterização os corpos de prova vão diminuindo sua capacidade de reter à água. Isto está relacionado a redução da porosidade que vai ocorrendo quando mais materiais vão se fundindo e preenchendo os espaços presentes entre os materiais mais

refratários. Nota-se que os valores de queima a 950 e 1050 °C apresentaram valores que se enquadram dentro dos limites recomendados para as composições de 10 e 15 % de lodo incorporado na argila. Outro ponto a ser observado, que utilizando o teste Tukey para um nível de significância de 5 % a temperatura de 1050 °C não houve evidência estatística de influência da composição de lodo na argila, ou seja, a mudança entre as composições de 10, 15 e 20 % não irá alterar o resultado da absorção de água para a queima a 1050 °C.

5.5.7. Retração linear de queima

Recomenda-se que tijolos furados possuam valores de retração linear de queima inferior a 6 % (IPT, 1985). A Figura 35 apresenta as retrações lineares de queima médias com adição de 10 %, 15 % e 20 % em função da temperatura de queima.

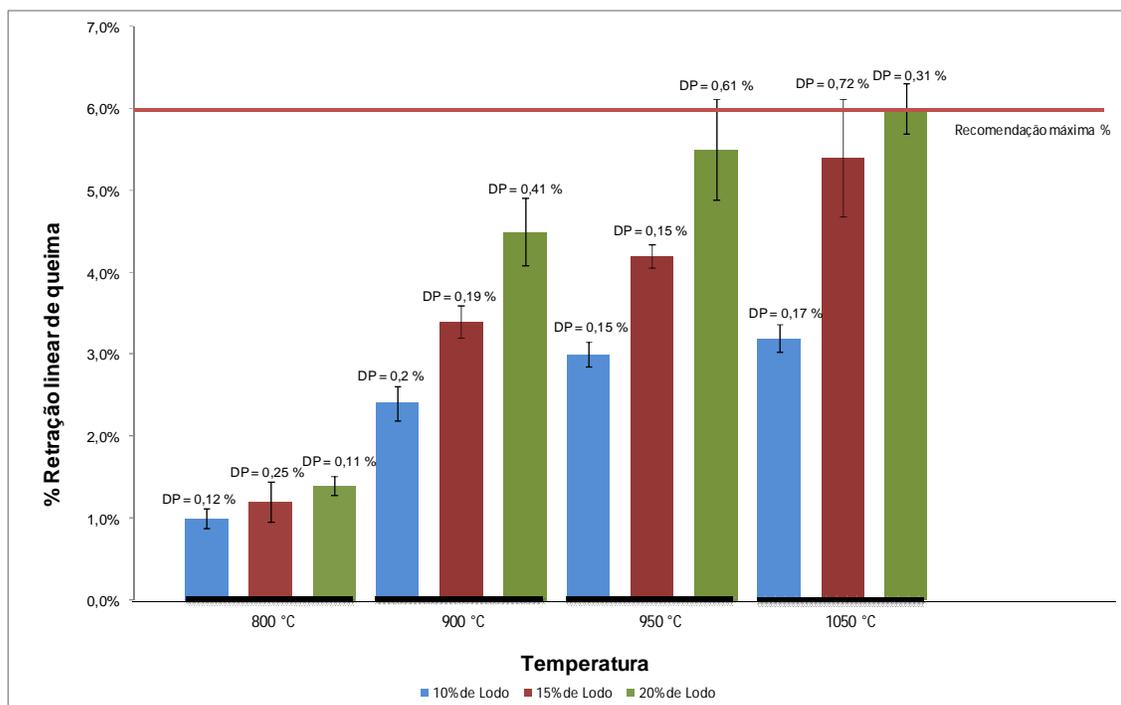


Figura 35 – Retração linear de queima média (%) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C

A Figura 35 mostra que todas as temperaturas e composições atingiram o valor de retração linear recomendado (6 %). Outro ponto a ser considerado, é que quanto maior a concentração de lodo na argila maior é o resultado da retração linear de queima. Isto ocorre em virtude da matéria orgânica presente no lodo vai sendo decomposta com o aumento de temperatura. Esta decomposição cria espaços vazios entre os materiais mais refratários que vão sendo preenchidos pelos materiais menos refratários gerando a retração no corpo de prova.

Analisando os resultados pelo teste de Tukey com nível de significância de 5 % pode-se constatar que não houve evidência estatística de influência da temperatura sobre as composições de 10 % de lodo na argila.

5.5.8. Massa específica aparente

Recomenda-se que tijolos furados possuam valores de massa específica aparente de 1,7 g/cm³ (IPT, 1985).

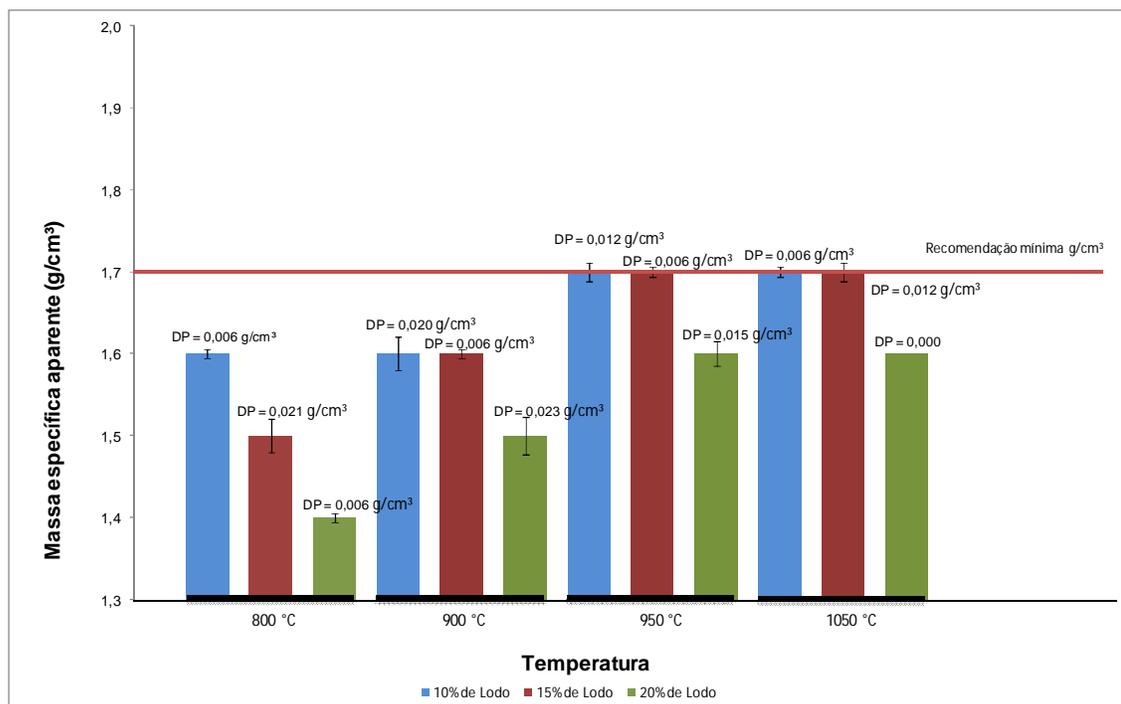


Figura 36 – Massa específica aparente média (g/cm³) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C

Nota-se pela Figura 36 que quanto maior a concentração de lodo, menor é a massa específica aparente média. As partículas do material com menor concentração de lodo se encontram mais compactadas em virtude da menor decomposição da matéria orgânica durante o processo de queima. Por outro lado, quanto maior é a temperatura de queima, maiores são os resultados de massa específica aparente em virtude da deformação plástica dos grânulos. Estes passam a ocupar os espaços vazios que são gerados entre eles tornando o material mais compactado. Analisando-se o gráfico da Figura 36, os corpos de prova queimados a temperatura de 800 e 900 °C não atingiram o valor mínimo recomendado além da composição dos corpos de prova onde a adição do lodo foi de 20 %. Apenas os corpos de prova com 10 e 15 % de lodo incorporado na argila e queimados nas temperaturas de 950 e 1050 °C se enquadraram no limite recomendado.

5.5.9. Porosidade aparente

Recomenda-se que tijolos furados possuam valores de porosidade aparente entre 17 a 35 % (IPT, 1985). A Figura 37 apresenta o comportamento da porosidade aparente dos corpos de prova e suas porcentagens de lodo na argila em função da temperatura de sinterização.

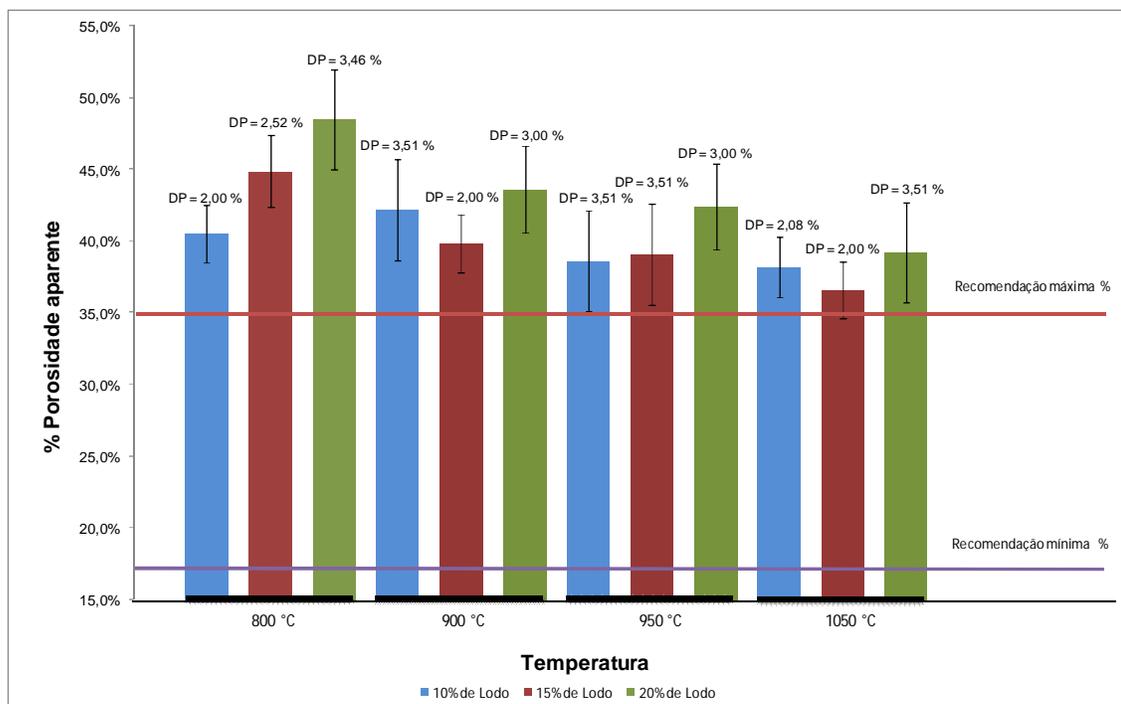


Figura 37 – Porosidade aparente média (%) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C

A porosidade aparente média dos corpos de prova de argila com lodo não atenderam a faixa recomendada. Isto pode ser atribuído a pequena granulometria do material e a combustão da matéria orgânica do lodo que ao ser degradada, deixa espaços vazios entre os grãos que demoram a ser preenchidos pela massa fundida.

5.5.10. Perda ao fogo

Recomenda-se que tijolos furados possuam valores de perda ao fogo de no máximo 10 % (IPT, 1985). A Figura 38 apresenta o comportamento de perda ao fogo médio dos corpos de prova em relação à temperatura de queima.

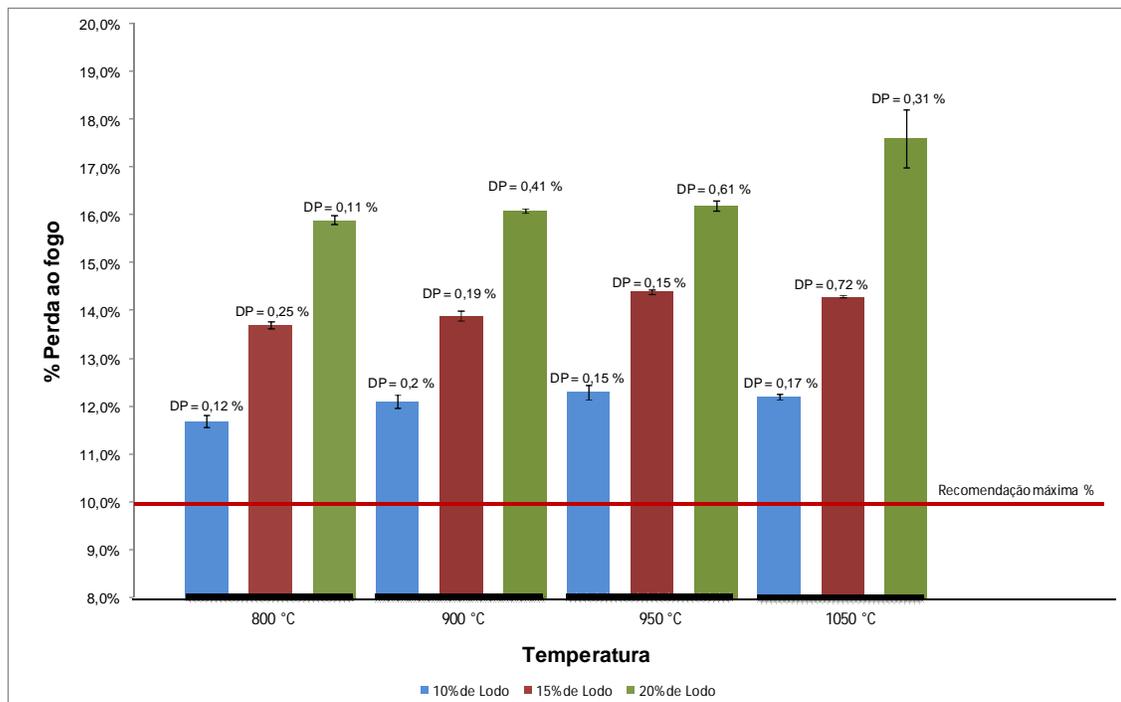


Figura 38 – Perda ao fogo média (%) dos corpos de prova com 10, 15 e 20 % de lodo na argila, queimados nas temperaturas de 800, 900, 950 e 1050 °C

Os resultados não foram favoráveis quanto à adição de lodo na argila, ou seja, ficaram acima do valor recomendado. Pode-se observar que nos resultados existe certa proporcionalidade de perda ao fogo em relação à porcentagem de lodo na argila. Isto pode ser atribuído aos carbonatos existentes no lodo que impactam diretamente na perda de massa em altas temperaturas. Outro fator identificado pela aplicação do teste de Tukey ao nível de significância de 5 %, é que não houve evidência estatística de influência da temperatura para a composição de 10 %.

5.5.11. Cor de queima

Segundo Santos (1989), a cor da cerâmica após a queima para tijolos maciços ou furados deve ser vermelha. Após a queima os corpos de prova apresentaram colocação de marrom claro avermelhado a marrom avermelhado como mostra a Figura 39.

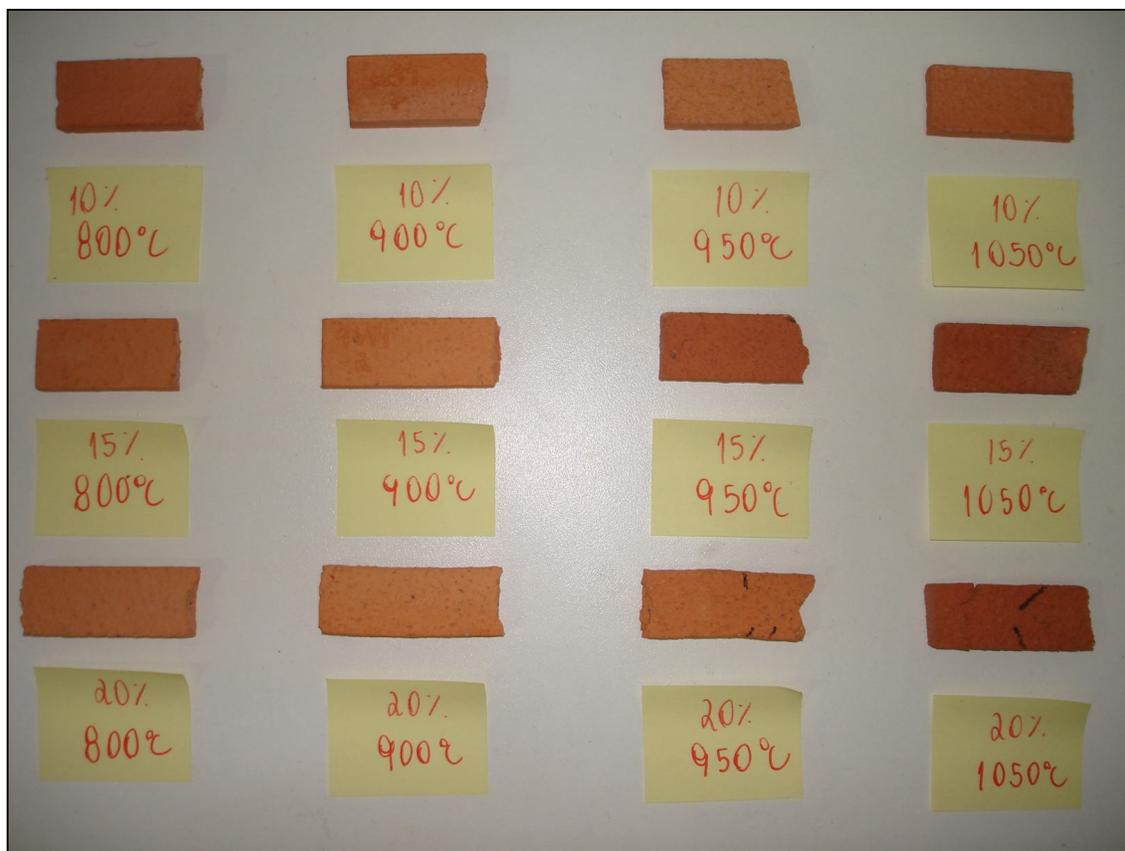


Figura 39 – Resultado da cor de queima dos corpos de prova

Portanto, os corpos de prova com 10, 15 e 20 % de resíduo foram considerados aprovados. Na Tabela 9 apresentam-se os resultados de cor dos corpos de prova após queima.

Tabela 9 - Coloração dos corpos de prova após queima

Percentual de lodo (%)	Coloração			
	Queima 800 °C	Queima 900 °C	Queima 950 °C	Queima 1050 °C
10	Marrom claro avermelhado	Marrom claro avermelhado	Marrom claro avermelhado	Marrom claro avermelhado
15	Marrom claro avermelhado	Marrom claro avermelhado	Marrom avermelhado	Marrom avermelhado
20	Marrom claro avermelhado	Marrom claro avermelhado	Marrom claro avermelhado	Marrom avermelhado

CONCLUSÕES

A alta plasticidade do material contribuiu ao não atendimento de propriedades como perda ao fogo, retração de secagem e porosidade. Contudo, as composições de 10 e 15 % de lodo na argila com temperatura de queima de 950 °C se aproximam dos requisitos recomendados. Assim com pequenos ajustes de formulação da matéria prima, como adição de argilas com granulometria maior reduziriam a plasticidade do material tornando-o menos poroso. Conseqüentemente, a quantidade de água requerida para sua extrusão seria menor impactando em menor retração durante o processo secagem. Além disto, estes ajustes proporcionariam a redução da absorção de água dos corpos de prova visto no item 5.5.6 que estão próximos do limite superior, e o aumento da massa específica aparente e resistência a compressão, ou seja, conferindo ao produto melhor qualidade de suas propriedades. Finalmente, proporcionando a produção de tijolos que atendam aos requisitos recomendados com lodo incorporado e contribuindo para amenizar o problema ambiental.

Como sugestões para trabalhos futuros:

Estudar a adição de uma argila com menor plasticidade com intuito de contribuir com a redução da umidade de extrusão, retração linear de secagem e perda de massa. Buscar a redução do excesso de plasticidade que ocasiona trincas, deformações e falhas nas peças conformadas.

Estudar temperaturas de queima de 1100 e 1150 °C que também são utilizadas para fabricação de tijolos na busca da melhoria das características mecânicas das peças.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Material refratário denso - determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção e massa específica aparente da parte sólida.** NBR 6220. Rio de Janeiro/RJ, 1989.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostras de Solo - Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização.** NBR 6457. Rio de Janeiro/RJ, 1986.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação do limite de liquidez.** NBR 6459. Rio de Janeiro/RJ, 1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **Tijolo maciço cerâmico para Alvenaria.** NBR 7170. Rio de Janeiro/RJ, 1983.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação do limite de plasticidade.** NBR 7180. Rio de Janeiro/RJ, 1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos – Classificação.** NBR 10004. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.** NBR 10005. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** NBR 10006. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de resíduos sólidos.** NBR 10007. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos.** NBR 15270-1. Rio de Janeiro/RJ, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos.** NBR 15270-2. Rio de Janeiro/RJ, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.** NBR 15270-3. Rio de Janeiro/RJ, 2005.

AGUIAR, L. **Plano de conservação e reuso de água (PCRA) na Whirlpool unidade de eletrodomésticos.** Joinville, SC, Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade da Região de Joinville, 2007.

ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização física e classificação dos solos.** Faculdade de Engenharia, Departamento de Transportes da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2005. Disponível em <<http://www.geotecnia.ufjf.br/MECSOL/APOSTILA2005.pdf>>. Acessado em 21 de agosto de 2010.

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.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

AMARO, J. C. **Cuidados na preparação de superfícies.** Tratamento de superfície, São Paulo, n. 136, p. 38-48, março/abril 2006.

AMORIM, F. R. **Co-processamento de dregs em argila para produção de cerâmica vermelha.** Belo Horizonte, MG, Dissertação (Mestrado em Saneamento), Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Ed.** Cincinnati, Ohio, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABC): **Apanhado sobre cerâmica.** 2002. Disponível no endereço eletrônico http://www.abceram.org.br/asp/abc_51.asp Acesso em: 31 jul. 2009.

ARAÚJO, F. S. D. **Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de cerâmica vermelha.** Natal, RN, Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

BITENCOURT, E. R. **Utilização de matéria prima alternativa na fabricação de tijolos de argila vermelha e branca.** Joinville, SC, Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade do Estado de Santa Catarina, 2004.

BOSSARDI, K. **Nanotecnologia aplicada a tratamento superficiais para o aço carbono 1020 como alternativa ao fosfato de zinco.** Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION **Manufacturing of bricks.** Reston, Virginia, 2006.

CAMERON, D.; BROWNE, M.: **Brick Clay.** 2007. Disponível no endereço eletrônico <<http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/178889/0050912.pdf>> Acesso em: 20 set. 2010.

CANNIO, M.; HANUSKOVA, M. **Os materiais refratários.** Cerâmica informação nº 63, 2010.

CAPANA, A. S. *et. al.* **Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estações de tratamento de água e esgoto do município de Araraquara-SP.** Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho UNESP, Araraquara, SP, 2006.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações - Fundamentos**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora. Vol. 1, 6^o ed., 1998.

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

CASTRO, F. **ABNT modifica normas para classificação de resíduos**. Revista Química e Derivados. São Paulo, nº 433, dez.2004/jan.2005.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solo e água subterrânea**. São Paulo. CETESB, 2001.

COELHO, C. C. S. R. **A questão ambiental dentro das indústrias de Santa Catarina: uma abordagem para o segmento industrial têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

DRONIOU, P. et. al. Nanoceramic-based conversion coating. **Focus on Powder Coatings**. N. 3, p. 5 – 6, 2006.

DUARTE, A. C. L. **Incorporação do lodo de esgoto na massa cerâmica para fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para disposição final do resíduo**. Natal, RN, Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

DUARTE, R. P. S., PASQUAL, A. **Avaliação do cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos**. Energia na Agricultura, vol. 15, n. 1, p. 46-58, 2000.

EYER, C. **Qualidade Ambiental. O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. 1 ed. Brasil, Pionera – ABIMAQ/SINDIMAQ, 1995.

GROENNER, P. E. M. **Reaproveitamento do resíduo de fabricação de consumíveis para soldagem em tijolos de cerâmica vermelha.** Belo Horizonte, MG, Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

JIANLONG, W.; JIAZHUO, W. **Application of radiation technology to sewage sludge processing: A review.** Laboratory of Environmental Technology, Institute of Nuclear and Energy Technology, Tsinghua University, Beijing, China, 2007.

ELIAS L.: **Geocities.** 2000. Disponível no endereço eletrônico <http://www.geocities.com/leandrox2000/ceramica.htm> Acesso em: 03 ago. 2009

FERGUSON, J. E. **The heavy elements: chemistry environmental impact and health effects.** 7 ed. Oxford: Pergamom Press, 1990.

FERREIRA, D. M., CASTANHO, S. R. H. M. (2001) **Incorporação de rejeitos sólidos galvânicos em vidros silicatos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45, 2001 Florianópolis. Anais. São Paulo: 2001.

FIEC, FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARA. **Meio Ambiente**, Portal, Disponível em: www.sfiec.org.br/artigos/meio_ambiente/residuos_solidos.htm. Acessado em 27 de abril de 2010.

FIESP – Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. **Tratamento de Superfície.** São Paulo, 1996

GARCIA I.; DORRONSORO C. **Contaminación del suelo.** Curso: Tecnologia de Suelos. Tema 15, 2002. Disponível em: <http://edafologia.ugr.es/conta/Tema15>. Acessado em 20 de março de 2010.

GENTIL, V. **Corrosão.** 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

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

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de procedimentos para a indústria de cerâmica vermelha (estrutural)**. Relatório nº 24422. São Paulo. 186 p.

JUNGINGER, M. **Revestimentos cerâmicos aderidos: aspectos técnicos no projeto de fachadas**. 2007. Disponível em <<http://compar.eng.br/Public/Apostila%20Rev%20Ceramico.pdf>> Acessado em 15 de outubro de 2010.

KIECKBUSCH, R. E.; LOPES, F. P. **Diagnóstico setorial da cerâmica para revestimento catarinense**. Instituto Euvaldo Lodi, Florianópolis SC, 2005.

LANGE, F. M. Q.; HOLECZEK, H.; BERNARDES, A. M. **Processo para redução de resíduos em indústrias galvanicas**. Tratamento de Superfície, São Paulo (SP), n.141, p. 24-32, fev. 2007.

LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão concisa**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento de resíduos sólidos industriais**. Tratamento de resíduos sólidos / Compêndio de Publicações. Caxias do Sul (RS): Gráfica da Universidade de Caxias do Sul, 1991.

LOPES, D. C. **Estudo da viabilidade de adição de resíduo de pó de fumo à massa cerâmica**. Santa Maria, RS, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

LUCZKIEWICZ, C; ZANELLA, E. C. S.; GRIGOLO, F. R. **Preparação de superfícies metálicas através de decapagem e fosfatização**. Pato Branco, PR, Monografia (Graduação em Tecnologia em Química Industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.

MACEDO, R. M. P. R. **Aplicação da metodologia de planejamento de experimentos para formulação de massas cerâmicas para telhas**. Natal, RN, Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

MAGOSSO, L., BONACELLA, P. **Poluição das águas**. 2 ed. São Paulo, Editora Moderna, 1991.

MEDEIROS, S. A. **Incorporação do lodo de tanque séptico como matéria prima de uma mistura asfáltica**. Natal, RN, Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2006.

MENDES, N.: **Partilha de aventuras**. 2007. Disponível no endereço eletrônico <http://terracotta.nireblog.com/post/2007/12/29/terracota-o-que-e> Acessado em: 05 de agosto de 2009

MOTTA, J F M; ZANARDO, A; JUNIOR, M C. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 6, n. 2, Março/Abril, 2001.

NASCIMENTO, T. C. F. **Gerenciamento de resíduos sólidos da indústria de galvanização**. Rio de Janeiro, RJ, Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

NAIR, A.; JUWARKAR, A. A.; DEVOTTA, S. **Study of speciation of metals in an industrial sludge and evaluation of metal chelators for their removal**. National Environmental Engineering Research Institute (NEERI), Índia, 2007.

OLIVIER, S.; SOUZA, S. R. **Redução da toxicidade e alcalinidade de resíduos sólidos industriais do ramo metalúrgico**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, Recife, PE, 2005.

PANOSSIAN, Z. **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. São Paulo: IPT, 1993.

PARANHOS, R. J. S. **Aproveitamento de resíduo de cinza da cana de açúcar em massas cerâmicas**. Natal, RN, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade do Rio Grande do Norte, 2010.

PASCHOAL, J. A. A. **Estudos de parâmetros de qualidade para a cerâmica estrutural vermelha.** São Carlos, SP, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos, 2003.

PIZATTO, R., **Utilização de Resíduos Industriais como matéria-prima para a elaboração de Tijolos.** Relatório de Iniciação Científica, UDESC Joinville, 2001.

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. **Importância da composição granulométrica de massas para cerâmica vermelha.** Revista Cerâmica Industrial, n. Janeiro – Abril de 1997.

PRADO, S. H., **Resistência a Compressão de Tijolos e Blocos Cerâmicos de Diferentes Formas e Dimensões.** Dissertação de Mestrado, UFSC, 1995.

RODRIGUES, M. M. B. **Proposta de modelo de qualificação evolutiva para empresa fabricantes de bloco de telhas cerâmica vermelha (Estado de Santa Catarina).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2002.

RODRIGUES, P. O. **Aplicação da Calorimetria Exploratória Diferencial no estudo de compatibilidade fármaco:excipiente visando o desenvolvimento de formulações sólidas orais: exemplo do antiretroviral Lamivudina.** 2007. Disponível no endereço eletrônico <http://www.sepex.ufsc.br/anais_4/trabalhos/156.html> Acessado em: 19 de setembro de 2009

ROJAS, B. *et. al.* **Estudo de Ensaio Termogravimétricos.** Nova Friburgo, RJ, 2004.

ROUF, A.; HOSSAIN, D. **Effects of using arsenic-iron sludge in bricks building.** Department of Civil Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka, Bangladesh, 2004.

SANTOS, G. M. **Estudo das variáveis de processamento das matérias primas da região do Crato – CE na fabricação de produtos cerâmicos por extrusão e**

por prensagem. Natal, RN, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade do Rio Grande do Norte, 2009.

SANTOS, O. C. **Influência da adição de rejeitos cerâmicos nas propriedades de cerâmica vermelha da região do Recôncavo Baiano.** Natal, RN, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas.** 2. Ed. São Paulo, Edgar Blucher. 1989.

SCHNEIDER, V. E.; BETTIN, F.; PARISE JÚNIOR, F. **Situação das indústrias galvânicas na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul quanto ao passivo ambiental de lodos de estações de tratamento de efluentes,** Trabalho apresentado no XXVII Congresso Internacional de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre. 2000.

SENAI, SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Perigo,** SENAI Hoje, ano 7, nº 1510, Disponível em: www.dn.senai.br/hoje/h010604. Acessado em 17 de maio de 2010.

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

SILVA, M. L. **Avaliação da Solidificação/Estabilização em Cimento de Cinzas de Incineradores.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SIMAS, R. **Levantamento da geração de resíduos galvânicos e minimização de efluentes contendo cianeto.** Curitiba, PR, Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2007.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental.** 5º ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002. p. 836.

SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B. **Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n° 3, 2000.

STARK, K. **Phosphorus release and recovery from treated sewage sludge.** Estocolmo, Suécia, PhD, TRITA-LWR PhD Thesis 1024, 2005.

SVANSTRÖM, M., *et. al.* **Environmental assessment of supercritical water oxidation of sewage sludge.** Estocolmo, Suécia, 2004.

TAKAYANAGUI, A. M. **Avaliação de risco ambiental no gerenciamento de resíduos de serviço de saúde.** Ribeirão Preto, Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto/USP – SP, 2000.

TARTARI, R. **Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha.** Toledo, PR, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade do Oeste do Paraná, 2008.

TEXEIRA, S. R.; SOUSA, J. ^a, SOUZA, N. R. **Viabilidade da utilização de resíduos de estação de tratamento de água e esgoto pela indústria cerâmica.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 46. São Paulo, 2002.

VAN VLACK, L. H. **Princípio de ciência dos materiais.** Ed. Edgar Blucher. 1984

WEG. **Manual de preparação de superfície e aplicação, tintas líquidas e em pó.** São Paulo, 2005.

WENDHAUSEN, P. A. P.; RODRIGUES, G. V.; MARCHETTO, O. **Análises Térmicas.** Apostila do Curso de Graduação em Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Mecânica. Disciplina: Caracterização de materiais III. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível em <<http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas/EMC5733/Apostila.pdf>>. Acessado em 18 set. 2009.