UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

OSWALDO TERUO KAMINATA

APROVEITAMENTO DO LODO GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LAVANDERIA TÊXTIL NA PRODUÇÃO DE BLOCO DE CERÂMICA VERMELHA

MARINGÁ

2008

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

OSWALDO TERUO KAMINATA

APROVEITAMENTO DO LODO GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LAVANDERIA TÊXTIL NA PRODUÇÃO DE BLOCO DE CERÂMICA VERMELHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a] Célia Regina Granhen Tavares
Co-Orientadora: Prof[a]. Dr[a] Cláudia Telles Benatti

MARINGÁ

2008

OSWALDO TERUO KAMINATA

APROVEITAMENTO DO LODO GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LAVANDERIA TÊXTIL NA PRODUÇÃO DE BLOCO DE CERÂMICA VERMELHA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, na área de concentração Infraestrutura e Sistemas Urbanos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 15 de dezembro de 2008.

Prof. Dr. Fernando Fernandes

Prof. Dr. Carlos de Barros Junior

Profa. Dra. **Célia Regina Granhen Tavares**
(Orientadora)

Profa. Dra. **Claudia Telles Benatti**
(Co-orientadora)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá.

Às Professoras Célia Regina Granhen Tavares e Cláudia Telles Benatti pela orientação nos trabalhos realizados durante a pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá.

À equipe envolvida no projeto pelo empenho durante a realização dos trabalhos relacionados à pesquisa, especialmente à Bruna Delboni, Marina Capelasso e Fabrícia S. Ramos.

Ao professor Ervim Lenzi do Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá, pelo constante auxílio nos esclarecimentos quanto às reações químicas.

À equipe do Laboratório de Materiais de Construção e Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, que foi envolvida no auxílio dos ensaios físicos e mecânicos.

À equipe do Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental, do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá que foi envolvida no auxílio dos ensaios físicos e químicos.

RESUMO

As indústrias de lavanderias têxteis geram resíduos de difícil tratamento e destinação final conhecido como lodo, constituídos por matéria orgânica e outros elementos químicos denominados metais pesados. A disposição, tratamento e reciclagem de tais resíduos constituem aspectos de grande interesse das empresas que os produzem. Buscando contribuir para a diminuição do impacto ambiental provocado pela disposição deste resíduo no ambiente, este trabalho teve como objetivo, estudar uma alternativa para reciclagem do lodo gerado no tratamento dos efluentes das indústrias de lavanderias têxteis por meio de incorporação à massa de argila para fabricação de blocos cerâmicos de vedação utilizados na construção civil. Para se definir o melhor tratamento, caracterizou-se o lodo misto, posteriormente incorporado à massa de argila para a fabricação de blocos cerâmicos de vedação em escala reduzida (63 mm x 30 mm x 47 mm), em porcentuais de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% em peso, inclusive blocos de controle fabricados apenas com argila. A qualidade dos blocos produzidos em escala reduzida foi avaliada por meio de ensaios de resistência à compressão, absorção de água, capacidade de retenção de metais pesados, medida por meio de ensaios de lixiviação e solubilização. Constatou-se que é possível incorporar até 15% de lodo na fabricação dos blocos cerâmicos, sem perda de suas qualidades essenciais. Visando a possibilidade de produção em escala industrial, foram produzidas e caracterizadas amostras de blocos cerâmicos em escala real com a formulação de 15% de lodo. Para os blocos em escala real, verificou-se também a resistência de aderência à tração em argamassa de reboco, especiação química e tratamento estatístico no balanço de massa. Constatou-se que os resultados dos ensaios realizados estão dentro dos limites estabelecidos em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. O aproveitamento do lodo de lavanderia têxtil pode aumentar a eficiência das indústrias envolvidas na fabricação dos blocos cerâmicos, promovendo uma redução na extração de recurso natural utilizado, assim como proporcionar à indústria de lavanderia têxtil uma destinação sustentável do resíduo poluente.

Palavras-chave: Lodo de lavanderia têxtil, cerâmica vermelha, argila com lodo de lavanderia, blocos cerâmicos.

ABSTRACT

The textile laundry industries generate wastes of difficult treatment and final destination known as textile sludge, consisting of organic matter and other chemical elements called heavy metals. The disposition, treatment and recycling of such waste is of great interest to the companies that produce them. Aiming to contribute for the reduction of the environmental impact caused by the disposal of this waste to the environment, this study evaluated an alternative for waste recycling of textile industrial laundries by means of incorporating it in the mass of clay blocks for the manufacture of ceramic seals, used in construction. In order to determine the best treatment, the mixed textile residue was characterized, and later on incorporated into the mass of clay for the manufacture of ceramic blocks sealing in small scale (63 mm x 30 mm x 47 mm) in percentages of 5%, 10% , 15%, 20% and 25% by weight, including blocks of control made only with clay. The quality of blocks produced in small scale was measured by tests of resistance to compression, water absorption, retention capacity of heavy metals, as measured by tests of leaching and solubilization. The results showed that it is possible to incorporate up to 15% of textile waste in the manufacture of ceramic blocks, without losing their essential qualities. Aiming the possibility of production on an industrial scale, samples of ceramic blocks in real scale with the formulation of 15% of textile waste were produced and characterized. For blocks in real scale, the strength of adhesion to the mortar, chemical speciation and statistical treatment in the mass balance were also determined. The results of the performed tests are within the limits set in standards of the Associação Brasileira de Normas Técnicas. The use of textiles waste can increase the efficiency of the industries involved in the manufacture of ceramic blocks, promoting a reduction in extraction of the natural resource used, as well as provide a sustainable destination of the pollutant waste to the laundry textile industry.

Key words: textile waste, red pottery, clay with sludge, clay blocks.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....**IV**

RESUMO.....**V**

ABSTRACT.....**VI**

SUMÁRIO.....**7**

LISTA DE FIGURAS.....**11**

LISTA DE TABELAS.....**13**

ANEXOS.....**15**

NOMENCLATURAS.....**16**

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....**19**

2 REVISÃO DA LITERATURA.....**22**

2.1 RESÍDUO SÓLIDO.....**22**

2.1.1 DEFINIÇÃO 22

2.1.2 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS..... 22

2.1.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS 24

2.2 INDÚSTRIA TÊXTIL.....**25**

2.2.1 DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA..... 25

2.3 LAVANDERIA TÊXTIL INDUSTRIAL.....**26**

2.3.1 EFLUENTE DE LAVANDERIA TÊXTIL 26

2.3.2 PROCESSO DE TRATAMENTO DO EFLUENTE DE LAVANDERIA TÊXTIL 27

2.3.3 LODO DE LAVANDERIA INDUSTRIAL..... 30

2.4 TRATAMENTO DE LODO.....**31**

2.4.1 SECAGEM E DESIDRATAÇÃO DE LODO..... 31

2.4.2 ATERROS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS 31

2.4.3 INCINERAÇÃO 32

2.4.4 Co-Processamento 32

2.4.5 Solidificação/Estabilização 33

2.5 Argila Cerâmica 34

2.5.1 Indústria mineral paranaense 34

2.5.2 Fases Cerâmicas 35

2.5.3 Cerâmica Vermelha 35

2.5.4 Processo Industrial de Cerâmica Vermelha 36

2.6 Incorporação de Resíduo em cerâmica vermelha 39

3 Materiais e Metodologias 43

3.1 Coleta dos Lodos 44

3.2 Coleta da Argila Cerâmica 46

3.3 Caracterização da Argila 46

3.4 Caracterização do Resíduo Têxtil 48

3.5 Delineamento Experimental 49

3.5.1 Delineamento dos Experimentos para Produção de Blocos Cerâmicos na Escala Reduzida 1:3 49

3.5.2 Delineamento dos Experimentos para Produção de Blocos Cerâmicos na Escala Real. 49

3.6 Produção de Blocos Cerâmicos em Escala Reduzida 1:3 50

3.6.1 Preparação e mistura de lodo com argila 50

3.6.2 Produção de blocos de vedação em escala reduzida, 1:3 51

3.6.3 Processo de secagem dos blocos de vedação 52

3.6.4 Condições de queima dos blocos de vedação na indústria cerâmica 53

3.7 Caracterização dos Blocos Cerâmicos em Escala Reduzida 55

3.7.1 Características Químicas 55

3.7.2 Características Físicas 56

3.7.3 Características Mecânicas 58

3.8 PRODUÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO EM ESCALA REAL.....59

3.8.1 PREPARAÇÃO E MISTURA DO LODO COM ARGILA PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS. 59

3.8.2 FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO NA ESCALA REAL. 59

3.8.3 PROCESSO DE SECAGEM DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL. 60

3.8.4 PROCESSO DE QUEIMA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL. 61

3.9 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS DE ESCALA REAL.....61

3.9.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL. 61

3.9.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL 63

3.9.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS..... 66

3.9.4 AVALIAÇÃO DA VOLATILIZAÇÃO DOS METAIS CONTIDOS NOS BLOCOS CERÂMICOS INCORPORADOS COM LODO. 72

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....74

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA.....74

4.1.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX) 77

4.1.2 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)..... 78

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO.....79

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3.....82

4.3.1 ANÁLISE QUÍMICA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 82

4.3.2 ANÁLISE FÍSICA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3 83

4.3.3 ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA EM BLOCOS NA ESCALA REDUZIDA 1:3.88

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL.....89

4.4.1 ANÁLISE QUÍMICA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL 89

4.4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL 95

4.4.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS DE ESCALA REAL.100

4.4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA E BALANÇO MATERIAL EM BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL COM 15% DE LODO. 103

5 CONCLUSÃO.....108

6 SUGESTÃO.....110

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO JUNTO À ESTRUTURA EXISTENTE NA INDÚSTRIA CERÂMICA.....110

7 REFERÊNCIAS.....112

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1- FLUXOGRAMA DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....43

FIGURA 3.2 - LODO EM PROCESSO DE SECAGEM NA INDÚSTRIA DE LAVANDERIA TÊXTIL.....45

FIGURA 3.3 – LOCAIS DE EXTRAÇÃO DA ARGILA E DE DEPÓSITO PARA USO INDUSTRIAL.....46

FIGURA 3.4 - MISTURA DO LODO COM ARGILA PARA PRODUÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS...51

FIGURA 3.5 - EXTRUSORA DE LABORATÓRIO EQUIPADA COM CAIXA ALIMENTADORA (1), ADENSADOR (2), CÂMARA DE VÁCUO (3), BOQUILHA (4) E MESA DE CORTE (5).....51

FIGURA 3.6 - SECAGEM DOS BLOCOS DE VEDAÇÃO EM GALPÕES ANTES DA QUEIMA.....53

FIGURA 3.7 - FORNO TIPO HOFFMAN PARA QUEIMA DOS BLOCOS CERÂMICOS.....55

FIGURA 3.8 – CAPEAMENTO DA AMOSTRA PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....58

FIGURA 3.9 – LINHA DE PRODUÇÃO DE BLOCOS NA CERÂMICA KI-LAJES EM JAPURÁ – PR...60

FIGURA 3.10 - MEDIDAS DAS FACES (L = LARGURA, H = ALTURA, C = COMPRIMENTO).....64

FIGURA 3.11 - DESVIO EM RELAÇÃO AO ESQUADRO (D).....64

FIGURA 3.12 - PLANEZA DAS FACES OU FLECHA (F).....65

FIGURA 3.13 - ESPESSURAS DAS PAREDES EXTERNAS E SEPTOS.....65

FIGURA 3.14 – EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - BLOCO CERÂMICO EM ESCALA REAL.....67

FIGURA 3.15 – CORPOS-DE-PROVA LOCADOS NA PAREDE EXPERIMENTAL DE ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS COM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....69

FIGURA 3.16 – CONSTRUÇÃO DA PAREDE EXPERIMENTAL.....71

FIGURA 3.17 – FIXAÇÃO DAS PASTILHAS PARA TESTE DE ARRANCAMENTO DE ARGAMASSA. 72

FIGURA 4.1 - CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DA ARGILA.....76

FIGURA 4.2 – DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA.....77

FIGURA 4.3 – DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA APÓS QUEIMA EM FORNO A 900 ^{o}C.....78

FIGURA 4.4 – PERDA DE MASSA OBTIDA PELA ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA.....79

FIGURA 4.5 - ABSORÇÃO DE ÁGUA DE AMOSTRAS DE BLOCOS EM ESCALA REDUZIDA.....85

FIGURA 4.6 - IMAGENS OBTIDAS PELA MEV EM ESTRUTURAS DE BLOCOS CERÂMICOS COM LODO.....87

FIGURA 4.7 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM BLOCOS DE ESCALA REDUZIDA 1:3.....89

FIGURA 4.8 – DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES METÁLICAS NO BLOCO NÃO QUEIMADO.....93

FIGURA 4.9 – DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES METÁLICAS NO BLOCO QUEIMADO.....93

FIGURA 4.10 - ABSORÇÃO DE ÁGUA EM AMOSTRAS DE BLOCOS CERÂMICOS.....96

FIGURA 4.11 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X OBTIDOS NAS AMOSTRAS DE ARGILA, ARGILA QUEIMADA E ARGILA COM 15% DE LODO.....99

FIGURA 4.12 – FOTOS OBTIDAS COM MEV EM ESTRUTURAS DE BLOCO CONTROLE E BLOCO COM 15 % DE LODO APÓS A QUEIMA (200 X).....100

FIGURA 4.13 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM BLOCO CERÂMICO.....101

FIGURA 4.14 - FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO NA INDÚSTRIA CERÂMICA.....111

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – RELAÇÃO DAS EMPRESAS FORNECEDORAS DE LODOS.....45

TABELA 3.2 - TAXA DE CARREGAMENTO PARA AMOSTRAS DE SEÇÃO CIRCULAR DE 50 MM DE DIÂMETRO.....69

TABELA 3.3 – LIMITES DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PARA EMBOÇO E CAMADA ÚNICA.....70

TABELA 4.1 - CARACTERÍSTICAS DA ARGILA.....74

TABELA 4.2 - LIMITES DE CONSISTÊNCIA DA AMOSTRA DE ARGILA.....75

TABELA 4.3 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA ARGILA.....76

TABELA 4.4 - CARACTERÍSTICAS DO LODO MISTO.....79

TABELA 4.5 - CARACTERÍSTICAS TÓXICAS DO LODO MISTO.....80

(PROCEDIMENTOS DE LIXIVIAÇÃO - NBR 10005/2004).....80

TABELA 4.6 - CARACTERÍSTICAS TÓXICAS DO LODO MISTO.....81

(PROCEDIMENTOS DE SOLUBILIZAÇÃO - NBR 10006/2004).....81

TABELA 4.7 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS DO EXTRATO LIXIVIADO DOS BLOCOS CERÂMICOS.....82

TABELA 4.8 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS BLOCOS CERÂMICOS.....82

TABELA 4.9 - ABSORÇÃO DE ÁGUA NOS BLOCOS CERÂMICOS DE ESCALA REDUZIDA.....84

TABELA 4.10 - RETRAÇÃO EM PORCENTAGEM NAS AMOSTRAS DE BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA.....86

TABELA 4.11 - DIMENSÕES DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3.....87

TABELA 4.12 - RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO NOS BLOCOS DE VEDAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA 1:3 (VALORES MÉDIOS).....88

TABELA 4.13 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS DO EXTRATO LIXIVIADO DOS BLOCOS CERÂMICOS.....90

TABELA 4.14 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS BLOCOS CERÂMICOS......**90**

TABELA 4.15 – EXTRAÇÃO SEQÜENCIAL EM AMOSTRAS DE BLOCOS CERÂMICOS COM 15% DE LODO......**91**

TABELA 4.16 – COMPLEXOS FORMADOS NA REAÇÃO DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO COM OXIGÊNIO......**95**

TABELA 4.17 - ABSORÇÃO DE ÁGUA NOS BLOCOS CERÂMICOS DE ESCALA REAL - VALORES MÉDIOS.....**96**

TABELA 4.18 – RETRAÇÃO NAS AMOSTRAS DE BLOCOS CERÂMICOS NA ESCALA REAL....**97**

TABELA 4.19 - DIMENSÕES DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL.....**98**

TABELA 4.20 – MINERAIS PRESENTES NA FRAÇÃO ARGILA......**98**

TABELA 4.21 – VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA BLOCOS EM ESCALA REAL......**100**

TABELA 4.22 – RESULTADO DO ENSAIO DE ADERÊNCIA DE ARGAMASSA NOS BLOCOS DE VEDAÇÃO.....**102**

TABELA 4.23 – CONCENTRAÇÕES DE METAIS TOTAIS DOS BLOCOS CERÂMICOS QUEIMADOS (Q) E NÃO QUEIMADOS (NQ) INCORPORADOS COM 15% DE LODO.....**103**

TABELA 4.24 - CONCENTRAÇÃO CORRIGIDA DE METAIS PRESENTES NOS BLOCOS CERÂMICOS QUEIMADOS, INCORPORADOS COM 15% DE LODO - MASSA ÚMIDA.....**105**

TABELA 4.25 – TESTE DE SIGNIFICÂNCIA PARA O CONJUNTO DE DADOS AMOSTRAIS.....**106**

ANEXOS

ANEXO 1 - LAUDO REFERENTE À ANÁLISE DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X NA FRAÇÃO ARGILA, LIVRE DOS ÓXIDOS DE FERRO – AMOSTRA 11. .....**120**

ANEXO 2- LAUDO REFERENTE À ANÁLISE DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X NA FRAÇÃO ARGILA QUEIMADA, LIVRE DOS ÓXIDOS DE FERRO - AMOSTRA 12..... **121**

ANEXO 3 - LAUDO REFERENTE À QUANTIFICAÇÃO DOS MINERAIS DA FRAÇÃO ARGILA, LIVRE DOS ÓXIDOS DE FERRO.....**122**

ANEXO 4 – LAUDO REFERENTE À ANÁLISE DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X NA FRAÇÃO ARGILA – AMOSTRA 11.....**123**

ANEXO 5 - LAUDO REFERENTE À ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA DOS ÓXIDOS DE FERRO DA FRAÇÃO ARGILA.....**124**

ANEXO 6 - LAUDO REFERENTE AO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO - PONTO 1.....**125**

ANEXO 7 - LAUDO REFERENTE AO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADER ÊNCIA À TRAÇÃO - PONTO 2.....**126**

ANEXO 8 - LAUDO REFERENTE AO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO - PONTO 3.....**127**

ANEXO 9 - LAUDO REFERENTE AO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO - PONTO 4.....**128**

NOMENCLATURAS

A – Área.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A.C. – Antes de Cristo.

Ana – Anastásio.

Å - Angstron.

C – Centímetros.

Cau – Caulinita.

Cm^2 – Centrímetro quadrado.

^oC – Graus centígrados.

DCB – Citrato-ditionito-bicarbonato de sódio

DRX – Difração de Raios X.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EHE – Esmectita.

E_o – Potencial de redução.

F – Flecha

Gt – Goethita.

H – Altura.

Hm – Hematita.

Hp – Potência em cavalo força.

H_2O_2 – Peróxido de hidrogênio.

HNO_3 – Ácido nítrico.

Ili – Ilita.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial.

IP – Índice de plasticidade.

Kg – Quilograma.

L – Largura.

LC – Limite de confiança.

LL – Limite de liquidez.

LP – Limite de plasticidade.

Lodo – Lodo gerado no processo de tratamento de efluentes das indústrias de processamento têxtil, denominadas *Lavanderias Industriais*.

m – Metros.

mm – Milímetro.

mg/kg – Miligrama por quilo.

mmHg – Milímetro de mercúrio.

MPa – Megapascal.

MPa/s – Megapascal por segundo.

Ms – Massa seca.

Mu – Massa úmida.

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura.

$MgCl_2$ – Cloreto de Magnésio.

M.O. – Matéria orgânica.

NBR – Norma Brasileira.

N – Newton.

NH_2OH-HCl – Cloreto de Hidroxilamina.

N/s – Newton por segundo.

NaOH – Hidróxido de Sódio.

NQ – Não queimado.

PR – Paraná.

P – Carga de ruptura.

pH – Potencial hidrogeniônico.

Q – Queimado.

QZ – Quartzo.

Ra – Resistência à tração em MPa.

Rut – Rutílio.

S/E – Técnica de Solidificação/Estabilização.

SP – São Paulo.

SiO_2 – Sílica.

Si – Silício.

SS – Sólidos Suspensos.

SSF – Sólidos Suspensos Fixos.

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis.

ST – Sólidos Totais

TGA – Análise Termogravimétrica.

UEM – Universidade Estadual de Maringá.

UH – Unidade Hazen (cor)

UT – Unidade de Turbidez

V^+ - Volts

$\bar{x}$ - Média.

$\Delta\bar{x}$ - Diferença da média.

$|\Delta\bar{x}|$ - Módulo da diferença entre média.

1 : 3 – Escala.

1 : 2 : 8 – Traço de argamassa de reboco em alvenaria de bloco cerâmico

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

As indústrias de processamento têxtil são importantes segmentos econômicos e sociais do estado do Paraná. A partir de 1990, as cidades próximas a Maringá, localizadas no norte do estado do Paraná, tornaram-se grande pólo de indústria de confecções, agregando várias atividades secundárias, que dão suporte ao desenvolvimento de produção, diante da crescente demanda. Uma dessas atividades é a das lavanderias industriais, que realizam etapas de tingimento e lavagem de vestuários da própria produção ou de terceiros (PIETROBON, 2004).

O processo de tratamento do efluente de lavanderias industriais gera resíduo em forma de lodo, material semi-sólido, que devido às suas características de composição, pode ser considerado um resíduo de classe II-A, não perigoso e não inerte. Esse lodo, de um modo geral, é composto de matéria orgânica e inorgânica, entre eles corantes contendo elementos químicos como alumínio, chumbo, cromo, cobre, ferro, manganês e sódio, devendo sofrer tratamento para o seu aproveitamento, ou disposição final em aterros para resíduos industriais.

Derivado do processo de tratamento do efluente de lavanderia têxtil, o resíduo a princípio, apresenta-se como lodo de consistência pastosa, ao ser retirado dos decantadores nos processos físico-químicos, e dos tanques de aeração nos processos de tratamento biológico. O lodo recolhido é depositado nos leitos de secagem, construídos em alvenaria, ao ar livre, para secagem por evaporação. Dessa forma há uma formação de material granular rígido com tamanhos variando desde pequenas partículas até aquelas com dimensões de 5 cm^3.

Atualmente os lodos gerados na região de Maringá, são desidratados e acondicionados em tambores hermeticamente fechados ou colocados em sacos impermeáveis feitos em lona denominados “big-bag”, com capacidade para 1000 litros e destinados para aterros industriais. O tipo de embalagem é padronizado em material plástico de polietileno e outros materiais resistentes à intempérie, evitando com isso, eventuais vazamentos, em caso de acidente durante o transporte, bem como no próprio local do destino.

Os lodos de lavanderias têxteis resultantes dos tratamentos dos efluentes industriais da região de Maringá são em grande parte, destinados aos aterros industriais distantes da sua fonte de origem, localizados nas cidades de Curitiba/PR e Paulínea/SP, acarretando altos

custos de transporte e disposição, onerando potencialmente o processo industrial têxtil, frente ao crescimento da demanda dos produtos no mercado consumidor.

Aterros industriais são depósitos de resíduos previamente embalados com materiais impermeáveis, do tipo lona ou tambores de polietileno, conforme a classificação do resíduo, estes são dispostos em camadas cobertas com solo de forma ordenada, mantido sob constante monitoramento do local.

Segundo a Nortevisual (2008), uma indústria de lavanderia têxtil de médio porte com capacidade para processar 100 mil peças de vestuários, gera em torno de 6 toneladas de lodo seco ou 120 toneladas de lodo com 95% de umidade, anualmente.

As indústrias de lavanderias têxteis da região de Maringá geram anualmente, aproximadamente 550 toneladas de lodo, segundo Hoeper (2008). Esse volume representa 30% do volume produzido nas indústrias localizadas também no pólo industrial têxtil da região de Cianorte, no noroeste do estado do Paraná, a 100 km de Maringá.

O passivo ambiental para as empresas nesse segmento é elevado, arcando com custo de aproximadamente trezentos e cinqüenta dólares por tonelada transportada. Além da co-responsabilidade com o resíduo, após o processo de deposição nos aterros industriais.

Pesquisas para o reaproveitamento de lodos têm sido realizadas nos últimos anos, aplicando técnica de solidificação/estabilização em matrizes sólidas, tais como argila cerâmica e argamassas de cimento, produzindo-se amostras de materiais aplicáveis na construção civil, como alternativa para minimizar o custo do descarte.

A solidificação/estabilização é o processo de encapsulamento do resíduo junto à matriz sólida, para que este se mantenha fixado na massa, em conseqüência da fusão com queima ou cimentação com aditivos entre os materiais envolvidos, evitando a lixiviação ou solubilização dos elementos constituintes, considerados nocivos ao ambiente.

Entre os materiais utilizados como matriz sólida para incorporação de resíduos, aplicando a técnica da solidificação/estabilização, destaca-se a argila. A argila pode ser moldada facilmente, pela sua alta plasticidade, apresentando resistência estrutural e estabilidade aos seus constituintes da massa, após a queima em alta temperatura.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo, verificar a possibilidade de produção de blocos cerâmicos de vedação, com utilização de lodo gerado em lavanderias industriais da região de Maringá, incorporando-o junto à matriz sólida de argila cerâmica,

na proporção máxima que limite a qualidade e bom desempenho desse material, para uso na construção civil.

Como objetivos específicos podem-se citar:

1. Caracterização da argila matriz e do lodo misto, composto por quatorze amostras coletados em doze indústrias de lavanderias têxteis;
2. Determinação da melhor composição de massa cerâmica (argila + lodo);
3. Determinação de viabilidade técnica desta incorporação;
4. Viabilidade de produção em escala industrial, após verificação das conformidades junto às normas brasileiras vigentes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 RESÍDUO SÓLIDO

2.1.1 Definição

De acordo com a norma NBR 10004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, resíduos sólidos são definidos como resíduos nos estados, sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origens industriais, domésticas, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

As características apresentadas por um resíduo como a periculosidade, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar: a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

A toxicidade é uma propriedade potencial que o agente tóxico possui de provocar, em maior ou menor grau, um efeito adverso em conseqüência de sua interação com o organismo. Agentes eco-tóxicos são substâncias ou misturas que apresentam ou possam apresentar riscos para um ou vários compartimentos ambientais.

2.1.2 Resíduos Sólidos Industriais

Produzir significa utilizar materiais e energia para transformá-los. Uma parte do resultado de transformação é calor dissipado, outra parte, resíduos, outro ainda, os bens econômicos. Os materiais e a energia a serem utilizados no processo produtivo e, posteriormente, no consumo humano são extraídos do ambiente. No processo produtivo, uma parte destes materiais volta ao ambiente transformada em resíduos (GOMES, 1995).

O acelerado processo de industrialização acarretou um aumento considerável na produção de resíduos sólidos de origem industrial. O trato inadequado dos resíduos sólidos industriais contribuiu de forma marcante para o agravamento dos problemas ambientais,

principalmente quanto à sua destinação final que constitui tarefa potencialmente poluidora do ambiente (ROCCA, 1993).

Devido à forma de coleta e disposição final, os resíduos sólidos industriais são responsáveis pela maior parte da contaminação do solo, do ar e dos recursos hídricos nos grandes centros urbanos. Assim, são muitos os riscos que a disposição inadequada do resíduo oferece, pois estão ligados a processos naturais que, na maioria dos casos, estão fora da esfera de controle do homem, como a lixiviação, percolação, evaporação, ciclo das chuvas, combustão, fumaça, pluma e vetores (LIMA, 1995).

O ambiente apresenta uma capacidade natural de se regenerar, restabelecendo seu equilíbrio inicial propício à vida. Sabe-se que estes processos regenerativos naturais ocorrem com velocidades variáveis, em função do tipo de fator que tenha causado o desequilíbrio. Sabe-se também que, ultrapassado certo limite, a capacidade regenerativa do ambiente pode ser superada, dando lugar ao aparecimento de mudanças que são irreversíveis (GOMES, 1995).

De acordo com Canter (2000), as atividades industriais produzem numerosos focos de contaminação para as águas subterrâneas, principalmente ligadas ao manejo de resíduos, como as lagoas de tratamento de efluentes, vazamentos de tanques, derrames acidentais, disposição de efluentes e resíduos sobre os solos ou nos cursos de água, injeção de efluentes em poços e partículas nocivas lançadas na atmosfera.

Acredita-se que os metais pesados talvez sejam os agentes tóxicos mais conhecidos pelo homem, pois diferem de outros agentes tóxicos porque não são sintetizados nem destruídos pelo homem. A atividade industrial diminui significativamente a permanência desses metais nos minérios, bem como a produção de novos compostos, além de alterar a distribuição desses elementos no planeta.

Todas as formas de vida são afetadas pela presença desses elementos, dependendo da dose e da forma química. Muitos são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano, mas eles são requeridos em baixas concentrações e podem danificar sistemas biológicos. A bioacumulação e a biomagnificação encarregam-se de transformar concentrações normais em concentrações tóxicas para diferentes espécies da biota e para o próprio homem (TAVARES & CARVALHO, 1992 citado por MATTIAS, 2006).

É consenso que, se a poluição não for imediatamente combatida com alternativas viáveis, a humanidade caminhará para um desastre ecológico de grandes proporções. Se os resíduos forem eliminados por meio de um aumento do rendimento dos processos industriais, não só ter-se-á uma natureza mais harmoniosa, como toda a sociedade se beneficiará com uma indústria mais eficiente, limpa e, conseqüentemente, mais lucrativa, uma vez que o resíduo industrial, quando submetido a tratamento apropriado, gera matéria-prima rica e de baixo custo (LIMA, 1995).

Segundo Menezes (2002), o aproveitamento dos rejeitos industriais, como materiais alternativos não é novidade, e tem dado bons resultados em vários países do primeiro mundo. Algumas das principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais são os esgotamentos das reservas de matérias-primas confiáveis, bem como o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupam o espaço e degradam os recursos naturais.

Giffoni (2005) afirma que a construção civil é um ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, pode ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos industriais.

2.1.3 Classificação dos Resíduos Sólidos

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem.

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo, ou atividade que lhes deu origem de seus constituintes, obtendo assim, amostragens significativas conforme procedimentos da norma NBR 10007/2004 seguida por caracterização de acordo com os procedimentos da norma NBR 10005/2004 para lixiviação e NBR 10006/2004 para solubilização. As quantidades dos constituintes encontrados deverão ser comparadas com os valores limites dos mesmos constituintes encontrados nas listagens de substâncias, relacionados nos anexos F e G da norma NBR 10004/2004. As quantidades acima ou abaixo dos valores limitantes estabelecem a classificação do resíduo.

Para os efeitos da norma NBR 10004/2004, os resíduos são classificados em: a) resíduos classe I – Perigosos; b) resíduos classe II – Não perigosos. Entre os resíduos Não perigosos estão os resíduos classe II A - Não inertes e resíduos classe II B – Inertes.

Resíduos classe I – Perigosos, são aqueles que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Resíduos classe II – Não perigosos, classe II A – Não inertes, são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B - inertes. Os resíduos classe II A – Não inertes, podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos classe II – Não perigosos, classe II B – Inertes, são qualquer resíduo que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor , turbidez, dureza e sabor, conforme o anexo G da norma NBR 10004/2004.

2.2 INDÚSTRIA TÊXTIL

2.2.1 Desenvolvimento da indústria têxtil brasileira

A economia brasileira passou, no início dos anos 90, por importantes transformações no cenário econômico que provocaram alterações nas características da produção industrial interna. A principal política adotada foi a abertura comercial, que tinha como objetivo combater a inflação e o aumento da competitividade da indústria brasileira, por meio da pressão da concorrência externa. Na indústria têxtil brasileira, a abertura comercial provocou impactos consideráveis em relação ao comércio exterior, principalmente nas importações de bens de capital e insumos, no preço interno e na qualidade dos principais produtos têxteis comercializados, e também sobre a forma de organização de sua produção (DIAS, 2007).

Com o desenvolvimento tecnológico, o número de indústrias no mundo vem crescendo a cada dia. A indústria têxtil constitui um fator de grande importância na economia brasileira e foi implantada no Brasil, em caráter industrial, após a proclamação da independência em 1822, mais precisamente no período que vai de 1844, até o final da 1ª. Guerra Mundial, e atualmente supre 60% da demanda interna (OLIVEIRA, 1980).

Na década de 80, de modo especial nos países industrializados, foi produzida uma mudança radical na mentalidade empresarial tomando medidas corretivas para reduzir ao mínimo a degradação do ambiente. Registrando novas tecnologias industriais no segmento

têxtil, reduzindo custos de produção e permitindo novos postos de trabalho. No entanto, a industrialização produziu contaminações ao ambiente, influenciando na qualidade de vida das pessoas (OCAMPO, 1998).

Segundo Moraes (1999), embora exista uma preocupação universal de evitar a contaminação por resíduos têxteis, esta pode acontecer, principalmente porque grande parte dos processos produtivos é poluente. Nestes processos de transformação industrial, geram-se resíduos que direta ou indiretamente são lançados para o ambiente. Novas alternativas capazes de minimizar o volume e a toxicidade, junto com o tratamento e o reaproveitamento dos resíduos, continuam sendo uma das principais armas de combate à contaminação ambiental, reduzindo custos operacionais e aumentando a competitividade.

2.3 LAVANDERIA TÊXTIL INDUSTRIAL

2.3.1 Efluente de Lavanderia Têxtil

A indústria têxtil é responsável pela geração de muitos efluentes com elevados níveis de coloração, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos suspensos e baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Dentre outras espécies químicas presentes no meio, especial atenção têm sido dada aos corantes reativos, principalmente em função da sua elevada toxicidade e resistência ao ataque microbiano. Atualmente, em função desta realidade, notáveis esforços estão sendo feitos para desenvolver tecnologias limpas e processos que facilitarão atingir um estado de descarga zero (KUNZ, 2002).

Segundo Braile & Cavalcanti (1993), as operações de limpeza, tingimento e acabamento na indústria têxtil dão origem a uma grande quantidade de despejos. A recirculação e recuperação de produtos químicos e subprodutos, constituem os maiores desafios enfrentados pela indústria têxtil internacional, com o fim de reduzir os custos com tratamento de seus despejos. Os despejos gerados pela indústria variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos, novos maquinários, novas técnicas e, também, conforme a demanda do consumidor por outros tipos de tecidos e cores.

Nas operações de tingimento, a poluição é devida principalmente às perdas de corante e de produtos auxiliares, dependendo da taxa de esgotamento do banho e do volume de banho por peso de tecido tingido, que pode variar de 1/5 a 1/50. As perdas dos banhos não completamente esgotados e dos corantes não fixados às fibras, que saem por lavagem e

rinçagem após o tingimento. A poluição, devido ao tingimento, representa 30 a 40% do conjunto da poluição orgânica de uma indústria de beneficiamento (MARTINS, 1997)

Traços de metais pesados tais como níquel, manganês, chumbo, cromo, cádmio, zinco, ferro e mercúrio, aparecem constantemente em alguns despejos industriais. A presença de qualquer destes metais em quantidades excessivas prejudica os usos benéficos da água (BRAILE & CAVALCANTI, 1993).

Os padrões de lançamento de efluente tratado devem se enquadrar dentro dos valores limitados pela resolução do Ministério do Meio Ambiente. Segundo a Resolução nº 357 (2005), não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencional em corpos de água de classes especial, classe 1 e 2. Águas de classe especial, classe 1 e 2 são de melhor qualidade e podem ser aproveitadas para consumo humano, após tratamento; preservação da comunidade aquática e recreação de contato primário, tais como natação e mergulho.

Segundo o IAP (2008), são mantidas as condições de lançamento e padrões de emissão adotados na Resolução nº 357 do Conama, para o controle de lançamentos de efluentes no corpo receptor do estado do Paraná.

2.3.2 Processo de Tratamento do Efluente de Lavanderia Têxtil

Segundo a HG (2008), o efluente que é gerado na lavanderia industrial, começa seu tratamento pelas caixas de areia. As caixas de areia possuem um desnível no fundo e trabalham em série com propósito de decantar a máxima quantidade de areia do efluente. Caso isso não aconteça, é possível que a areia que passar pelas caixas vá se acumulando no tanque de aeração, ocupando volume que deveria ser do lodo biológico ativado, prejudicando seriamente a eficiência do tratamento biológico.

Após a passagem pelas caixas de areia, o efluente é bombeado para o tanque de decantação primária, onde o efluente passa por mais um estágio de decantação da areia, em seguida por gravidade, escoa para uma peneira auto-limpante, onde são retirados sólidos grosseiros como restos de fibra de tecido, plásticos e outros materiais contidos no efluente.

Em seguida, o efluente é transferido para o tanque de equalização por transbordo. O tanque de equalização serve para estabilizar a vazão e homogeneizar o efluente com o propósito de manter uniforme, as características do efluente para o tratamento posterior. O efluente equalizado é bombeado ao tanque de aeração, o bombeamento regular faz com que a composição química e a carga orgânica não sofram alterações bruscas, permitindo que os microrganismos se adaptem a esta regularidade sem inibir sua atividade, mantendo a eficiência de remoção de carga orgânica o mais constante possível. Alterações bruscas de vazão no tanque de aeração podem comprometer a capacidade dos microrganismos em decompor a variação da carga orgânica. Neste tanque há a biodegradação da matéria orgânica, transformando-a em substâncias mais simples como água, CO_2 e sais, gerando a biomassa (lodo).

Após o tempo de retenção no tanque de aeração, o efluente é bombeado para os decantadores, de onde parte do lodo acumulado no fundo dos decantadores é diretamente recirculado ao tanque de aeração e a outra parte é transferido para o adensador de lodo para que a partir deste, seja feito o descarte. O lodo descartado é armazenado na caixa de lodo biológico para posteriormente ser encaminhado aos leitos de secagem.

A água que transborda dos decantadores passa por medidores de vazão, e então é encaminhada para uma segunda etapa do tratamento, chamada de tratamento Físico-Químico. Ao sair dos decantadores o efluente é encaminhado ao tanque de mistura, nesse momento é dosado sulfato de alumínio ao efluente. De acordo com testes realizados periodicamente, a dosagem ideal de sulfato pode variar de 80 até 400 ppm, dependendo das condições do efluente na saída do tanque de aeração. A função do sulfato de alumínio é de atuar como coagulante do lodo que está diluído no efluente que sai dos decantadores, induzindo a formação de partículas coloidais no meio líquido, formando flocos com tamanho suficiente para facilitar a remoção.

Após o tempo necessário no tanque de mistura, o efluente é bombeado para um vaso pressurizado por ar comprimido, mantido por um compressor. O efluente do vaso pressurizado com sulfato de alumínio é conduzido sob pressão ao tanque de flotação, despressurizado em um tubo perfurado imerso no fundo do flotador, passando pelo dosador de polímero, agente auxiliar para flotação do lodo que ainda se encontrava suspenso no efluente. O lodo retirado do flotador por raspagem mecânica superficial é encaminhado ao leito de secagem.

A próxima etapa do tratamento é a passagem do efluente do flotador por mais um tanque de decantação, onde eventuais partículas arrastadas irão decantar e a partir daí a água é encaminhada por gravidade para a coluna de filtragem de onde escoa para o tanque de efluente tratado de onde é reutilizada novamente no processo.

O lodo retirado do flotador é armazenado na caixa de lodo do tratamento físico-químico em seguida é transportado até os leitos de secagem.

Na prática, a secagem do lodo gerado no tratamento físico-químico é mais rápida, devido à presença do sulfato de alumínio e do polímero, dando ao lodo uma característica menos densa, permitindo facilidade de secagem.

Hoepers (2008), nos seus trabalhos de tratamento de efluentes de lavanderias têxteis da região de Maringá, observou que no processamento industrial de lavagem e tingimento de de vestuários, são gerados efluentes que após coletado no tanque de equalização, apresenta DQO em torno de 300 mg/L e DBO de 250 mg/L. Já o efluente tratado pelo processo biológico e físico-químico, apresenta DQO em torno de 30 mg/L e DBO de 14 mg/L.

Segundo Bitencourt (2002), as etapas de gradeamento, peneiramento, separação de areia, são todas etapas físicas onde se tem a retirada de materiais como, por exemplo, fibras dos tecidos e argilas expandidas utilizadas na etapa de desengomagem do tecido. No homogeneizador, existe um ajuste do pH necessário para a etapa posterior do processamento. No decantador existe uma remoção da cor, turbidez e eliminação de parte da carga orgânica, para isto faz-se a decantação dos sólidos suspensos presentes no efluente, com a adição de um agente floculante, o sulfato de alumínio.

O sobrenadante, ou seja, o líquido clarificado do decantador passa então para as lagoas de tratamento que é o tratamento secundário. A função desse tratamento é a remoção da matéria orgânica. O lodo gerado no processo de decantação apresenta uma composição química complexa, pois os materiais utilizados no processo de lavagem, tingimento e tratamento do efluente líquido estão presentes em sua constituição.

Segundo Kunz (2002), os principais processos de tratamento dos efluentes de lavanderias têxteis são:

a) Tratamentos fundamentados em processos de coagulação, seguidas de separação por flotação ou sedimentação, apresentam uma elevada eficiência na remoção de material particulado. A remoção de cor e compostos orgânicos dissolvidos mostra-se eficientes. Os processos de adsorção em carvão ativado apresentam uma eficiência significativamente

maior, contudo, em função da superfície química do carvão ser positiva, a adsorção de corantes de caráter catiônico é uma limitação bastante importante. Além das desvantagens aqui assinaladas, é importante salientar que todos os processos anteriormente citados correspondem a sistemas não destrutivos. Embora o volume dos resíduos possa ser significativamente diminuído, a disposição final das fases sólidas continua sendo um problema sem solução. Em função destes inconvenientes, existe certa predileção pela utilização de processos que realmente possam degradar as espécies de interesse.

b) Os processos biológicos que são utilizados com maior freqüência e estão representados pelos sistemas de lodos ativados. Este processo consiste na agitação dos efluentes na presença de microrganismos e ar, durante o tempo necessário para metabolizar e flocular uma grande parte da matéria orgânica. Infelizmente, o processo apresenta o grande inconveniente de ser bastante susceptível à composição do efluente (cargas de choque), além de produzir um grande volume de lodo.

Em geral, na indústria têxtil os processos de tratamento estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de precipitação-coagulação, seguidos de tratamento biológico via sistema de lodos ativados. O sistema apresenta uma eficiência relativamente alta, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes (BITENCOURT, 2002).

2.3.3 Lodo de Lavanderia Industrial

As lavanderias industriais são fontes geradoras de efluentes líquidos, que após tratamento por decantação, produzem lodo. A quantidade de lodo gerada está relacionada com a eficiência do tratamento físico-químico ou biológico utilizado, e a exposição deste lodo ao ambiente tornou-se um problema ambiental para as lavanderias industriais, em parte pela sua característica de ser solúvel em água (MARTINS, 1997).

O lodo têxtil oriundo da estação de tratamento, decantado e seco, é rico em metais pesados e outros componentes, dentre os quais estão o alumínio, ferro, manganês, titânio, silício, sódio, cálcio, magnésio, fósforo, carbono total, carbono orgânico e cloretos. A poluição por metal pesado é extremamente perigosa pela toxidade e persistência no ambiente. Ao contrário dos poluentes orgânicos, os metais pesados são geralmente refratários e não podem ser degradados ou facilmente desintoxicados biologicamente. Encontrar soluções efetivas e seguras para resíduos semi-sólidos que contém metais pesados é sempre um desafio para as indústrias geradoras, devidas em parte, ao custo efetivo das alternativas de tratamento disponíveis (PRIM, 1998).

2.4 TRATAMENTO DE LODO

2.4.1 Secagem e Desidratação de Lodo

A secagem tem como objetivo primário evaporar a água presente no lodo. Os constituintes líquidos evaporam como uma conseqüência do calor aplicado. Na secagem, a taxa na qual ocorre a evaporação do líquido depende da condutividade térmica do resíduo sólido a ser seco e dos pontos de ebulição dos constituintes líquidos voláteis a serem evaporados (LIMA JR, 2001).

A desidratação é a retirada da umidade presente no lodo de lavanderia têxtil, pode ser feita por transferência de calor ou secagem por processos físicos, como por exemplo, a prensagem. A secagem assim como outros tratamentos pode resultar na redução do volume, a remoção de compostos voláteis, combustíveis e matéria orgânica volátil. Entretanto, este tratamento tem como objetivo principal a remoção de água que é o veículo para espalhamento de poluentes que se encontram agregados ao resíduo sólido. Como tratamento em si, a secagem pouco pode promover a destruição de compostos tóxicos e, somente sob determinadas condições de temperatura e pressão, pode eliminar microrganismo patogênico agregado ao resíduo sólido (BITENCOURT, 2002).

Segundo a Nortevisual (2008), outras alternativas adotadas para secagem do lodo, além do leito de secagem é o filtro-prensa. É comum a utilização do filtro prensa pelas grandes indústrias, dada a eficiência que esse equipamento oferece, reduzindo o tempo de secagem e minimizando também o espaço físico utilizado geralmente pelo leito de secagem.

Em conseqüência do aumento da demanda de produtos industrializados, atualmente, a secagem do lodo gerado no processo industrial tem como principal objetivo, a eliminação máxima da água incorporada no resíduo, reduzindo o custo de transporte para o aterro industrial.

2.4.2 Aterros de Resíduos Industriais

Define-se aterro Industrial, a técnica de disposição final de resíduos sólidos industriais no solo para minimizar o risco à degradação ambiental e à saúde pública.

Os aterros para resíduos industriais são obras de disposição final, menos onerosa e de tecnologias mais conhecidas no Brasil. Entretanto, deve-se ter em mente que esses aterros não servem para disposição de todos os tipos de resíduos industriais. No Brasil, a

concepção dos aterros é determinada para que seus efluentes não atinjam as águas subterrâneas. Isso implica em aterros completamente confinados, ou em aterros completamente drenados. É fundamental para escolha do tipo de aterro, o conhecimento dos resíduos sólidos a serem dispostos, isto é, sua quantificação e qualificação e periculosidade. Existem os seguintes tipos de aterros industriais: industrial classe I para resíduos perigosos, e industrial classe II para resíduos não perigosos. Devido a escassez de grandes áreas disponíveis, e uma maior conscientização em relação à questão ambiental, o sistema de aterro deve ser usado para complementar as soluções de tratamento de resíduos sólidos industriais, devendo ser preferencialmente usado quando os resíduos não puderem ter seu volume mais reduzido, podendo constituir muitas vezes a única solução de disposição final para alguns tipos de resíduos (D`ALMEIDA e VILHENA, 2000).

2.4.3 Incineração

É um tratamento aplicando o processo de combustão controlada, permitindo com isso a redução em volume e peso dos resíduos sólidos. Os resíduos são transformados em gases, calor e materiais inertes entre os quais, cinzas e escórias.

O processo de incineração de um resíduo perigoso ocorre em atmosfera oxidante, e temperatura geralmente superior a 900 ^{o}C. Normalmente, o calor requerido para a incineração é oriundo da oxidação das ligações orgânicas de carbono e hidrogênio que existem no interior do resíduo ou combustível, desta forma ocorrem reações com o oxigênio, gerando gás carbônico, água e calor. A incineração é eficiente com resíduos orgânicos, contudo não é capaz de destruir compostos inorgânicos e metais agregados a resíduos sólidos. (MANAHAN, 1994).

Sendo assim, do ponto de vista técnico, sobretudo econômico, recomenda-se que a incineração seja feita para resíduos sem alternativas de outros tratamentos mais seguros.

2.4.4 Co-Processamento

A técnica de incineração dos resíduos perigosos em fornos de indústrias de cimento e cal, caldeiras industriais e fornos siderúrgicos são denominados co-processamento. Segundo Visvanathan (1996) os fornos de indústrias cimenteiras são excelentes equipamentos para destruição de resíduos perigosos, particularmente aos orgânicos halogenados, devido às

altas temperaturas e ao grande tempo de residência dos gases no interior dos fornos. O processo de incineração é indicado para resíduos com alto poder calorífero e baixo teor de água, sólidos e metais.

2.4.5 Solidificação/Estabilização

A solidificação é uma forma de pré-tratamento que gera uma massa sólida monolítica de resíduo tratado, melhorando tanto a sua integridade estrutural, quanto a sua característica física, tornando assim mais fácil o seu manuseio e transporte. A estabilização, por sua vez consiste em um estágio de pré-tratamento por meio do qual os constituintes perigosos de um resíduo são transformados e mantidos nas suas formas menos solúveis ou menos tóxicas. Tais transformações se dão por meio de reações químicas que fixam elementos ou compostos tóxicos, em polímeros impermeáveis ou em cristais estáveis. Quanto às características físicas do resíduo, estas podem ou não ser alteradas e melhoradas (CETESB, 1993).

A solidificação/estabilização tem como objetivo melhorar as características físicas e de manuseio dos resíduos, diminuírem a área superficial por meio da qual possa ocorrer a transferência ou perda de poluentes, limitarem a solubilidade ou destoxificar quaisquer constituintes perigosos contidos no resíduo.

As tecnologias de solidificação e estabilização têm sido utilizadas há décadas como etapa final de tratamento anterior à disposição final de rejeitos industriais. O processo de solidificação traduz-se numa alteração da forma física do rejeito, de modo a restringir sua dissolução em soluções aquosas, numa adequação às condições ambientais de descarte. A estabilização diz respeito ao processo de geração de espécies quimicamente mais estáveis sob ação do intemperismo, a partir dos constituintes do rejeito, resultando de modo geral em cargas ambientalmente mais aceitáveis (XISTOQUÍMICA, 2002).

A técnica de Solidificação/Estabilização é umas das formas para tratamento e disposição dos resíduos industriais. Segundo Malviya (2006), o processo de Solidificação/Estabilização (S/E), utiliza formulações quimicamente reativas que, em conjunto com a água e outros componentes do lodo, formam sólidos estáveis. O material utilizado para Solidificação/Estabilização (S/E), além de solidificar o resíduo perigoso por meios químicos, insolubiliza, imobiliza, encapsula, destrói ou interage com os

componentes do resíduo utilizado. Os resultados dessas interações são sólidos não-perigosos ou menos perigosos que o resíduo original.

A eficiência do tratamento por processo de solidificação e estabilização é normalmente determinada por meio do teste de lixiviação. Com o ensaio de lixiviação, se determina a estabilidade química e o potencial poluidor de uma matriz contendo contaminantes. A lixivialidade é calculada expondo o resíduo tratado ou não a uma solução com características conhecidas para determinar o grau de dissolução dos contaminantes (BRITO, 2006).

Segundo Barth e Percin (1990) os processos de Solidificação e Estabilização são divididos em dois grupos: inorgânicos e orgânicos. Os processos inorgânicos com cimento e pozolanas têm sido utilizados com mais freqüência. Os processos orgânicos com termoplásticos, polímeros orgânicos têm sido aplicados para resíduos específicos.

A Solidificação e Estabilização em argilas organofílicas possui como característica principal a afinidade com as moléculas orgânicas. São tipos especiais de argilas organofílicas, argilo-silicatos ou outros minerais do solo que foram alterados pela substiuição de cátions inorgânicos intercambiáveis adsorvidos nas superfícies dos minerais por cátions inorgânicos de cadeia longa, provocados por sais quaternários de amônia.

A utilização de argilas organofílicas para estabilizar resíduos orgânicos é conhecida desde os anos de 1930 para remoção de gordura de lã, adsorver corantes, estabilizar metais e outros cátions em resíduos radioativos (TRUSSEL E SPENCE, 1994).

2.5 ARGILA CERÂMICA

2.5.1 Indústria mineral paranaense

Uma das características dos segmentos mineradores e transformadores de minerais relativamente abundantes, é que a intensidade de exploração e transformação dos mesmos guarda relação com a concentração populacional, uma vez que normalmente seus produtos ou usos, são realizados e consumidos local e regionalmente (MINEROPAR, 2003).

Dentre os setores cerâmicos no Paraná, o segmento de maior destaque é o da cerâmica vermelha (tijolos furados, tijolos maciços, lajotas, blocos de vedação, blocos estruturais,

telhas, manilhas e pisos rústicos). É um segmento que participa com 2 a 3% da indústria de construção civil, e 0,5% do PIB nacional (ANICER, 2007).

Na região noroeste concentram-se aproximadamente 60 olarias, destacam-se os municípios de Japurá com 6,93% da produção paranaense de cerâmica vermelha, utilizando argilas residuais ou primárias que são aquelas que permanecem no local em que se formaram, devido a condições adequadas de intemperismo, topografia e natureza da rocha matriz (MINEROPAR, 2000).

2.5.2 Fases Cerâmicas

Os materiais cerâmicos contêm fases que são compostos de elementos metálicos e não metálicos. Por existirem muitas fases cerâmicas, várias são as combinações possíveis de átomos metálicos e não metálicos, existindo vários arranjos estruturais diferentes dos materiais metálicos e poliméricos. Entretanto, há uma superposição considerável entre os materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos, particularmente quando aparecem semi-metálicos. Entre os materiais cerâmicos estão os vidros, blocos cerâmicos, pedras, concretos, abrasivos, vidrados para porcelana, isolantes elétricos, materiais magnéticos não metálicos, refratários, etc.

As propriedades dos materiais cerâmicos dependem de suas estruturas. Por exemplo, sua baixa condutividade é devida à imobilidade dos elétrons das ligações iônicas e covalentes. Quanto ao comportamento mecânico, com pequenas exceções, os materiais cerâmicos são caracterizados pela sua alta resistência ao cisalhamento e sua baixa resistência à tração. Conseqüentemente, não apresentam fratura dúctil (JOHN, 2000).

2.5.3 Cerâmica Vermelha

Segundo a Anicer (2007), utilizados desde 4.000 A.C. pelo homem, os materiais cerâmicos se destacam pela sua durabilidade, além da abundância da matéria-prima (argila) utilizada. Não se sabe exatamente a época e o local de origem do primeiro tijolo. Possivelmente foram os romanos os primeiros a utilizar o produto, na forma que se conhece hoje, registradas através das ruínas desta civilização que dominava o processo de queima da argila.

Presume-se que a alvenaria tenha sido criada há cerca de 15.000 anos, pois necessitando de um refúgio natural para se proteger do frio e dos animais selvagens, o homem decidiu empilhar pedras. No entanto, quando a pedra natural começou a escassear, o homem passou a substituí-la pelo tijolo seco ao sol.

O registro mais antigo do tijolo foi encontrado nas escavações arqueológicas em Jericó Oriente Médio, no período Neolítico inicial. A unidade de alvenaria (tijolo) era uma peça grande em forma de pão, seca ao sol, pesando em torno de 15Kg. Nestas unidades de barro, conformados à mão, se encontram marcados os dedos do homem neolítico que as elaborou.

Uma forma - a cônica - é de interesse, pois se repete e está presente em lugares distantes, sem ligação direta e em situações semelhantes. As unidades cônicas se encontram em muros construídos, por exemplo, na Mesopotâmia, há cerca de 7.000 anos, e na zona da costa norte do Peru, no Vale do Rio Chicama. Por meio das investigações realizadas nos últimos 40 anos, sabe-se que a alvenaria tem se racionalizado (ANICER, 2007).

O emprego dos produtos cerâmicos iniciou-se em lugares onde a pedra era escassa e os materiais argilosos eram abundantes. A matéria-prima mais comum é o barro, sendo a mais utilizada desde o tempo pré-histórico. O cozimento das argilas primeiramente era feito ao sol e depois em fornos. Os materiais cerâmicos logo se tornaram essenciais na história da humanidade (PETRUCCI, 1978).

2.5.4 Processo Industrial de Cerâmica Vermelha

2.5.4.1 Matéria-prima Argila

Segundo Santos (1989), a argila é um material inorgânico natural, de granulometria fina, com partículas de poucos micrômetros, que apresenta comportamento plástico quando adicionada uma quantidade de água. Do ponto de vista sedimentalógico e granulométrico, a fração argila corresponde ao conjunto de partículas inferiores a 2 μm, segundo as escalas de Attenberg e Wentwork, respectivamente. Do ponto de vista mineralógico, as argilas são constituídas predominantemente de argilominerais filossilicatos, e seus tipos mais comuns são formados de folhas tetraédricas de silício e octaédricas de alumínio, e com menor freqüência, formadas com magnésio e ou ferro. Constituem unidades estruturais na proporção 1:1 ou 2:1. Além do arranjo estrutural, o espaçamento basal dessas unidades tipifica os argilominerais dos diversos agrupamentos, destacando-se os grupos da caulinita, ilita e esmectita, como os mais importantes do ponto de vista cerâmico. Juntamente com as

partículas de argilominerais ocorrem outros minerais, geralmente nas frações silte com partículas entre 2 μm e 0,62 mm, e areia fina com partícula acima de 0,62 mm. Nessas granulometrias maiores, o mineral mais comum é o quartzo, seguido de micas, feldspatos e minerais opacos.

Os argilominerais são responsáveis pelo desenvolvimento da plasticidade que as argilas apresentam quando misturadas com uma quantidade conveniente de água. A plasticidade é uma importante propriedade tecnológica que possibilita o emprego de diversas técnicas de conformação, permitindo a obtenção de peças com formas geométricas das mais variadas, com a resistência mecânica adequada para seu manuseio. Esta é uma das razões para o emprego de argilas em diversos segmentos cerâmicos como os de revestimento, cerâmica vermelha, cerâmica branca, refratários, e outras (MOTTA, 2001).

2.5.4.2 Extração e Estocagem de Argila

Segundo Vieira (2005), devido às diversas condições de formação e períodos, os sedimentos argilosos geralmente apresentam variações significativas da suas características no depósito. No segmento de cerâmica vermelha normalmente se utilizam somente argilas, na composição a massa.

A variação de suas características pode acarretar sérios problemas de processamento e de inconstância das propriedades finais requeridas. Como o comportamento de argilas durante o processo produtivo depende da natureza, estrutura mineralógica e características físicas e químicas se fazem necessário minimizar e controlar a variabilidade de suas características.

A variabilidade das características das argilas pode ser minimizada pelo conhecimento prévio da jazida e elaboração de uma exploração racional com o emprego de técnicas de homogeneização, geralmente por pilhas. Faz parte da homogeneização o "descanso" das pilhas por períodos que variam de três meses a um ano.

A massa cerâmica trabalhada com argila descansada comporta-se bem melhor nos equipamentos de conformação, e nas demais etapas do processo produtivo. Isto proporciona ganhos de produtividade acompanhados de melhorias significativas na qualidade do produto.

2.5.4.3 Moldagem dos blocos cerâmicos vazados

Os blocos cerâmicos para alvenaria, são definidos pela norma ABNT NBR 15270-1/2005, como o componente de alvenaria que apresenta furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contém. O bloco cerâmico é fabricado basicamente com argila, conformado por extrusão e queimado a uma temperatura que permita atender aos requisitos de qualidade previstos na referida norma. Podem ser classificados como de vedação ou estruturais. Blocos de vedação são aqueles que não têm a função de suportar outras cargas verticais além daquela referente ao seu peso próprio e pequenas cargas de ocupação. Blocos estruturais são projetados para suportar outras cargas verticais, além da carga do seu próprio peso, compondo o arcabouço estrutural da edificação.

O bloco cerâmico é um material poroso, com grande capacidade de absorção de água. Na fabricação e no armazenamento, durante a construção e/ou quando incorporado na estrutura, sofre a ação da água das mais diversas origens: umidade natural, imersão durante a construção das alvenarias, água existente nas argamassas das juntas e dos revestimentos, água das chuvas, água que sobe por capilaridade e condensações. Assim, o bloco cerâmico deve ter uma absorção de água que permita sua conveniente aderência às argamassas. É preciso garantir que o bloco cerâmico seja capaz de expulsar facilmente a água que absorveu, pois a introdução de água pode trazer inconvenientes, como tornar úmido um determinado local, desagregar a alvenaria e o seu revestimento ou afetar a sua durabilidade (FAULT, 2003).

2.5.4.4 Secagem e Queima de blocos cerâmicos vazados

Se a secagem não for uniforme, aparecerão distorções nas peças, mas, se for muito lenta, a produção tornar-se-á antieconômica. Para se ter uma secagem uniforme (gradientes de temperatura e umidade minimizados) é importante moderar adequadamente a intensidade da secagem, pelo controle da velocidade, umidade relativa e temperatura do ar de secagem, forma do corpo, particularmente a relação área/volume e a porosidade do material. Isto conduz a um produto industrial de qualidade aceitável comercialmente para ser submetido ao processo de queima (CADÉ, 2005).

Segundo Vieira (2003), as argilas apresentam microestruturas em virtude da diferente composição mineralógica e efeito das temperaturas de queima.

As argilas são rochas constituídas por minerais plásticos e minerais não plásticos. Durante a queima, estes minerais sofrem importantes transformações de caráter físico e químico. Além disso, podem ocorrer interações entre os diversos minerais constituintes das argilas os quais são também fortemente influenciados pelas condições de queima, como atmosfera do forno, temperatura máxima e taxa de aquecimento/resfriamento. Nos minerais plásticos destacam-se reações de perda de água de constituição e transformações de fases. Da parte dos minerais não plásticos podem ocorrer decomposições de hidróxidos, oxidação de matéria orgânica, transformação alotrópica do quartzo, decomposição de carbonatos, transformações de fases, redução de compostos e formação de fase líquida, dentre outras (FACINCANI, 1993).

Durante a queima de um corpo cerâmico, a medida que a temperatura aumenta, ocorrem vários fenômenos. Acima de 100 ^{o}C ocorre a eliminação de água higroscópica; em torno de 200 ^{o}C ocorre a eliminação da água coloidal das partículas de argila. Entre 350 ^{o}C e 600 ^{o}C ocorre a combustão das substâncias orgânicas, com eliminação de gás carbônico, que podem estar contidos na argila e começa a dissolução dos sulfatos com a liberação de gás sulfídrico. Entre 450 ^{o}C e 650 ^{o}C ocorre a decomposição da substância argilosa, com liberação de água de constituição, sob forma de vapor de água, a qual está ligada quimicamente à sílica e à alumina. A partir de 900 ^{o}C verifica-se a reação química da sílica e da alumina com elementos fusíveis, reação que dá lugar à formação de sílico-aluminatos complexos, que proporcionam ao corpo cerâmico as características de dureza, estabilidade, resistência à vários agentes físicos e químicos, e a coloração pretendida. Acima de 1000°C, a temperatura máxima para a queima varia conforme a composição química e mineralógica da massa, proporcionando dureza, compactação e impermeabilidade desejada (LINDNER, 2001).

2.6 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO EM CERÂMICA VERMELHA

A produção de materiais de construção, embora necessária, promove significativo impacto ambiental, porém, a reciclagem de resíduos provenientes destes materiais de construção permite a redução do volume de uso de matérias primas; a conservação de matéria prima não renovável; a redução do consumo de energia; menores emissões de poluentes, como CO_2 e a melhoria da saúde e segurança da população (ENBRI, 1994). A indústria cerâmica

é potencialmente um grande consumidor de resíduos provenientes de outras indústrias, sendo atualmente um grande reciclador de resíduos industriais (JOHN, 2000).

A incorporação de resíduos na produção de materiais também pode reduzir o consumo de energia, considerando que estes produtos freqüentemente incorporam grande quantidade de energia e porque podem reduzir as distâncias de transporte de matérias primas. A incorporação de resíduos no processo produtivo permite a redução da poluição gerada, e muitas vezes, a produção de materiais com melhores características técnicas.

Alves (2003) constatou que é possível incorporar até 20% de borra oleosa na fabricação de blocos cerâmicos de vedação sem perdas de suas qualidades essenciais e sem prejuízo ao ambiente. O resíduo de petróleo, misturado à massa cerâmica pode trazer economias no consumo de energia proveniente da queima deste material no interior do bloco cerâmico. Esta combustão interna diminui a exigência de energia externa para queima, contribuindo para a redução do consumo de lenha na queima dos blocos.

John (1997) afirma que a reciclagem de resíduos é uma das maneiras de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando reduções no preço e gerando benefícios sociais por meio da política habitacional. A reciclagem também possibilita a adoção de medidas de incentivo específico, para a produção de habitações de baixo custo utilizando-se de produtos reciclados. Nesta situação, a reciclagem de resíduos, como materiais de construção, combina a preservação ambiental com o aperfeiçoamento de políticas sociais.

Pietrobon (2002) apresentou a caracterização físico-química do lodo proveniente de uma lavanderia industrial, para estudo de sua disposição final, em processo de estabilização/solidificação, em pasta de cimento e em argamassa de cimento. Detectou na caracterização do lodo de lavanderia, a presença dos elementos: Fe, Mg, Al, Sn, Ca, Cr, Co, Cu, Mn e Zn. Os corpos de prova com lodo e argamassa foram submetidos à análise de resistência à compressão e também testes de lixiviação na argamassa. Os resultados demonstraram que na pasta de cimento e lodo os valores de resistência mecânica, aos 28 dias, atingiram valores maiores que 10 MPa. E as argamassas com adição de teores de lodo inferiores a 25% em relação à massa de cimento, apresentaram valores de resistência mecânica maiores que 10 MPa aos 28 dias, o que permite sua utilização como material de construção secundário, sem função estrutural. A lixiviação ocorrida nos corpos de prova de argamassa sem lodo incorporado foi da mesma ordem de grandeza daquela encontrada nos

corpos de prova contendo lodo. Levando a conclusão de que a argamassa permitiu uma incorporação segura dos metais detectados no lodo de lavanderia.

Bitencourt (2002) caracterizou o lodo gerado em indústria têxtil e detectou a presença de metais, entre outros o Cobalto, Cobre e Zinco, além do Alumínio, utilizado no processo de decantação dos sólidos durante o tratamento físico-químico dos efluentes. Estudou-se o reaproveitamento deste lodo contendo 50% de matéria orgânica, por meio de sua incorporação em argamassa, usando a técnica de solidificação/estabilização de resíduos. Os testes permitiram concluir que massa com relação lodo/cimento de até 33,3% pode ser utilizada como materiais secundários. O autor conclui também que a baixa resistência obtida nos resultados de resistência mecânica, foi conseqüência do alto teor de matéria orgânica contida no resíduo.

Herek (2005) estudou o processo de solidificação/estabilização do lodo de indústria têxtil em material cerâmica, visando à fabricação de blocos de vedação para uso em construção civil. Verificou a resistência mecânica, a absorção de água e lixiviação da amostras após a queima em forno de indústria cerâmico em proporções de 0, 10 e 20 % de lodo seco na massa de argila. Obtendo bons resultados no teste de resistência à compressão e absorção de água em blocos com 10 % de lodo incorporado na matriz argila. A análise do extrato lixiviado mostrou que houve a retenção dos metais contidos no lodo, avaliados conforme a norma NBR 10004/87.

Moreira (2001) incorporou resíduo gerado na estação de tratamento de esgoto de indústria têxtil, na fabricação de materiais de construção (cerâmica vermelha), utilizando até 10 % de lodo têxtil em massa de argila, que foram queimados em forno, a uma temperatura entre 1000°C e 1100°C, obtendo, assim, os melhores resultados quanto à resistência mecânica e absorção de água. O autor concluiu que é possível utilizar lodos gerados por estações de tratamento de indústrias têxteis para a fabricação de materiais de construção (cerâmica vermelha), desde que se utilize proporção adequada de argila e lodo, bem como argilas de natureza adequada e aplicação de tratamento térmico apropriado.

Sundaram (2006) pesquisou o tratamento e reuso do efluente de indústria têxtil utilizando como floculante o polieletrólito para decantação dos sólidos suspensos, clarificando em seguida com hipoclorito de sódio para reaproveitamento da água. O lodo gerado nesse processo foi incorporado em blocos cerâmicos para uso em construção civil, utilizando-se entre 3 e 30% de lodo têxtil em argila, seguido da queima a uma temperatura gradativa de 200 a 800 ^{0}C, durante 8 horas. A proporção com 9 % de lodo têxtil em 91 % de argila foi

ideal para atender a resistência mecânica e absorção de água exigida pela norma Bureau of Indian Standard.

Segundo Weng (2003) a técnica de utilização de lodo têxtil, como um aditivo em materiais de construção civil, incluindo blocos cerâmicos, não somente converte os resíduos em materiais utilizáveis, mas também alivia os problemas de disposição. Os benefícios do uso de resíduos como aditivos cerâmicos incluem a imobilização de metais pesados na matriz queimada, oxidação da matéria orgânica e destruição de qualquer organismo patogênico durante o processo de queima.

3 MATERIAIS E METODOLOGIAS

A metodologia para o desenvolvimento do trabalho foi realizada conforme o fluxograma apresentado na Figura 3.1.

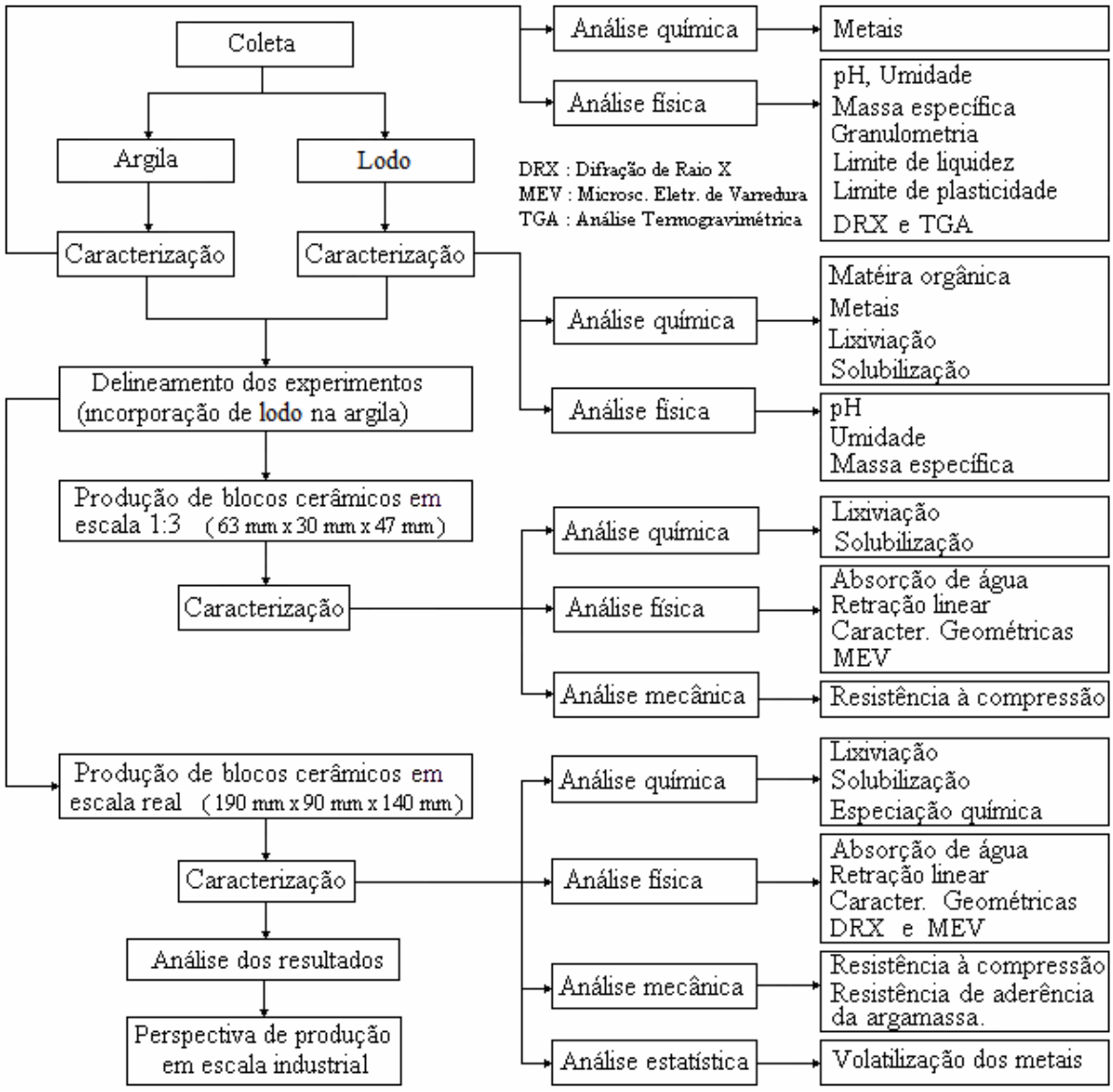


Figura 3.1- Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.

Adotaram-se dois processos experimentais de fabricação de blocos cerâmicos de vedação, do tipo seis furos na horizontal: fabricação em laboratório, na Universidade Estadual de Maringá, em escala reduzida 1:3; e fabricação na indústria cerâmica, em escala real,

utilizando os mesmos resíduos de lavanderias e argila, para verificação das características físico-químicas e mecânicas dos blocos.

Depois de produzidos, a pré-secagem e a queima das amostras foram realizadas de forma semelhante em forno da indústria cerâmica, sob a mesma condição de tempo e temperatura de queima dos demais blocos produzidos nessa indústria. As composições de 5, 10, 15, 20, e 25% de mistura lodo/argila, mais os blocos controle somente com argila, foram adotados com base em massa seca dos dois materiais, constituindo em mesma massa para os dois processos de fabricação experimental dos blocos. Essas composições adotadas permitiram obter resultados variados durante os ensaios físico-químicos e mecânico, apresentando valores que permitiram verificar a proporção ideal lodo/argila que trouxesse benefício econômico e ambiental, para o gerador do resíduo, indústria cerâmica, e principalmente, ao ambiente e usuário.

A matriz argila, o lodo misto (mistura de lodos de lavanderias da região de Maringá) e os blocos cerâmicos, foram caracterizados quanto à lixiviação e solubilidade, com base nas normas NBR 10005/2004 e 10006/2004, respectivamente. Com os procedimentos da norma, foram obtidos os extratos para determinação da quantidade de metais presentes, das matérias primas e dos blocos cerâmicos, antes e depois do processamento de queima. Os valores de elementos químicos encontrados, tanto nas matérias primas, quanto nos blocos de vedação produzidos com resíduos, foram comparados com valores dos anexos F e G da norma NBR 10004/2004.

As determinações das características físicas, mecânicas e geométricas das amostras dos blocos cerâmicos de vedação, foram realizadas no laboratório de materiais de construção da Universidade Estadual de Maringá, com base nas normas NBR 15270-1/2005 (Terminologia e requisitos) e NBR 15270-3/2005 (Métodos de ensaio).

3.1 COLETA DOS LODOS

Lodos de 14 pontos de 12 lavanderias industriais foram coletados e armazenados em tambores de polietileno, com tampa de fecho hermético e capacidade de 100 Kg de amostra. As indústrias têxteis fornecedoras dos lodos estão relacionadas na Tabela 3.1, a seguir.

Tabela 3.1 – Relação das empresas fornecedoras de lodos.

Empresa	Localidade	Atividade	Tipo de tratamento do efluente
ALTÔNIA	Altônia - PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
ARCO-ÍRIS	Sarandí - PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
CIDADE VERDE	Maringá - PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
CLI	Maringá – PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
CLI	Maringá – PR	Lavanderia têxtil	Biológico
CINCO ESTRÊLAS	Astorga – PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
COSTA OESTE	Pato Bragado – PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
DINÂMICA	Maringá - PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
DINÂMICA	Maringá - PR	Lavanderia têxtil	Biológico
JOMINI	Sarandí – PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
NOVA MARINGÁ	Maringá – PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
OBJETIVA	Maringá – PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
PÉROLA	Pérola – PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico
SCALON	Maringá - PR	Lavanderia têxtil	Físico-químico

As coletas dos lodos foram realizadas diretamente nas indústrias geradoras, onde esses materiais já se encontravam prontos para a destinação final em aterros industriais, (Figura 3.2). Os lodos coletados gerados em cada uma das lavanderias, apresentaram características semelhantes entre si por se tratarem de um mesmo segmento industrial de processamento têxtil.

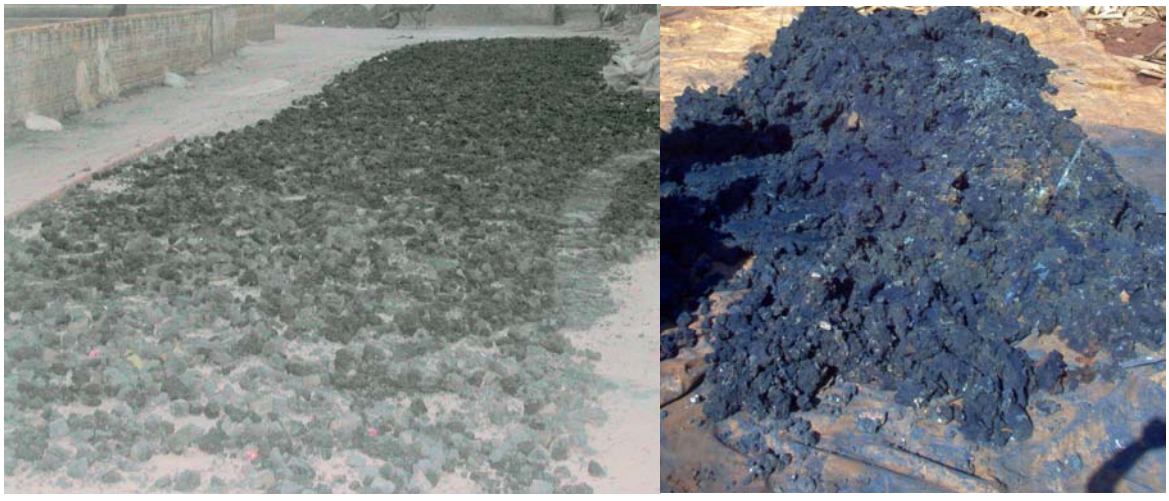


Figura 3.2 - Lodo em processo de secagem na indústria de lavanderia têxtil.

3.2 COLETA DA ARGILA CERÂMICA

A argila extraída da jazida formada por sedimentação aluvial, localizada próximo às margens do rio Ivaí no município de Japurá, norte do estado do Paraná, apresenta características variadas conforme profundidade que se encontra. No entanto, para a homogeneização, tem-se adotado a mistura, durante a própria extração, de forma que a escavação é realizada abrangendo todas as camadas heterogêneas constituintes da jazida. Isso se deve ao contínuo processo de mistura durante o transporte para o depósito a céu aberto, localizado próximo à fábrica, onde a escavadeira mecânica faz o trabalho de homogeneização, revolvendo o material para que mantenha menos adensado e mais arejado. O estoque de material homogeneizado é conservado nesse estado durante oito anos, sofrendo processo de degradação e estabilização da matéria orgânica, adquirindo assim mais plasticidade, tornando-o mais coeso e pronto para utilização (Figura 3.3).

Desse material estabilizado, denominado argila cerâmica, foram coletados 2000 Kg de um mesmo lote e embalados em recipientes de 50 kg cada. A coleta única teve como finalidade, manter a representatividade da amostragem, uniformizando a matéria prima. A argila coletada foi utilizada como padrão, para as diversas formulações de resíduo/argila, adotadas nos ensaios.

Figura 3.3 – Locais de extração da argila e de depósito para uso industrial.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA

A disposição natural da argila na jazida encontra-se em camadas com profundidade variando entre 0,50 e 4,00 metros, sendo a camada superior constituída de solo arenoso,

pouco argiloso mais conhecido como saibro. As camadas argilosas apresentam variações de tonalidade notando-se nitidamente a presença de matéria orgânica na parte superior, formada pelo processo de percolação hídrica associado ao material biológico.

O material coletado para ensaio foi secado em temperatura ambiente, moído, peneirado e caracterizado em laboratório. A moagem, o peneiramento e a caracterização da argila foram realizados de forma semelhante à do resíduo têxtil, incluindo ainda, a determinação de limite de plasticidade, de acordo com NBR 7480/1984; limite de liquidez, de acordo com NBR 6459/1984 e granulometria conforme NBR 7181/1982.

3.3.1.1 Difração de Raio-X (DRX) em amostras de argila.

O ensaio de DRX em amostra de argila antes da queima teve como finalidade a identificação dos minerais presentes na massa que proporcionam a refratariedade e ridez após a queima. A análise quantitativa dos minerais presentes foi determinada na fração argila livres dos óxidos de ferro e a quantificação dos óxidos de ferro presentes em amostras da argila cerâmica.

Os difratogramas de raios-X foram obtidos num equipamento Shimazu XRD-6000.

3.3.1.2 Análise Termogravimétrica (TGA).

Nesse trabalho, TGA teve a finalidade de determinar a perda ao fogo em amostras de argila, lodo e argila com 15% de lodo. Perda ao fogo é a diminuição de peso, até um valor constante, que indica uma perda de material devido ao aumento de temperatura gradativo de 0 à 1000 ^{o}C Esse ensaio assemelha-se ao processo que ocorre nos blocos cerâmicos durante a queima nos fornos, observando que a temperatura máxima alcançada nos fornos foi de 1000 ^{o}C. Basicamente indica o teor de matéria orgânica presente na argila e a quantidade de gás e vapor que são formados durante o aquecimento, resultantes da decomposição dos carbonatos.

Utilizou-se o equipamento Shimadzu Thermogravimetric Analyzer – modelo TA-50, operando em atmosfera de Nitrogênio a 20 ml por minuto, com taxa de aquecimento de 10 ^{o}C por minuto.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO TÊXTIL

A caracterização do resíduo teve como objetivo a sua classificação, conforme a norma NBR 10004/2004, com seus procedimentos para obtenção do extrato lixiviado de resíduo têxtil sólido, visando diferenciar os resíduos classificados pela norma citada, como classe 1 – perigosos – e classe 2 – não perigosos, e a obtenção do extrato solubilizado de resíduo têxtil sólido, visando diferenciar os resíduos classificados pela norma, como classe 2 A – não inerte – e classe 2 B – inerte.

Os materiais praticamente desidratados foram moídos, utilizando-se moinho de barras cilíndrico, com capacidade para 30 kg, adaptado com motor elétrico de 2 Hp e redutor para 30 rotações por minuto, misturados e caracterizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá.

O material moído foi passado pela peneira com malha de dois milímetros, para evitar eventuais obstruções na boquilha da extrusora durante a produção dos blocos. Para a completa homogeneização, foram misturados mecanicamente, quatorze lodos secos, utilizando-se do moinho sem barras. Nesse processo de mistura, considerou-se a massa equivalente em peso seco de cada lodo, para obtenção de uma só amostra representativa.

As caracterizações das amostras dos lodos homogeneizados foram realizadas no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental da Universidade Estadual de Maringá, de acordo com a norma da NBR 10004/2004, para sua classificação; NBR 10005/2004, para obtenção do extrato lixiviado; NBR 10006/2004, para obtenção do extrato solubilizado; NBR 6508/1984, para determinação da massa específica; Método Kiehl (1979), para determinação de umidade e matéria orgânica; Método AWWA/APHA, (1995), para determinação dos sólidos totais, fixos e voláteis; Método Malavolta (1997), para extração à digestão ácida; Método Embrapa (1979), para determinação do pH; Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica, para leitura e quantificação dos metais dos extratos lixiviados e solubilizados da amostra bruta.

Para determinação dos elementos químicos dos extratos lixiviados e solubilizados, bem como do extrato da digestão ácida, foi utilizado o espectrofotômetro de absorção atômica modelo SpectrAA 50B da Varian.

3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

3.5.1 Delineamento dos Experimentos para Produção de Blocos Cerâmicos na Escala Reduzida 1:3

A primeira fase experimental dos testes em blocos de vedação, na escala reduzida, teve como finalidade o estudo do comportamento preliminar quanto aos parâmetros físicos, químicos e mecânicos, utilizando diferentes formulações de mistura entre lodo e argila.

Foram produzidas amostras de blocos cerâmicos, em escala reduzida com um terço do tamanho real, utilizando formulações com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de lodo, na massa de argila cerâmica, para definir a melhor proporção. Além disso, foram produzidos blocos controle, fabricados somente com argila.

Procurando manter maior representatividade, foram produzidas para cada formulação, 150 unidades de blocos de vedação do tipo seis furos, na escala reduzida 1:3, com dimensão de 63 mm de comprimento, 30 mm de largura e 47 mm de altura. Nessa primeira fase do trabalho, a moagem do resíduo e argila, caracterização, mistura lodo/argila, produção e secagem dos blocos, foram realizados nos laboratórios da Universidade Estadual de Maringá. O processo de queima dos blocos foi efetuado nos fornos da indústria cerâmica Ki-Lajes de Japurá-PR.

Pelos resultados obtidos com ensaios estabelecidos em norma, determinou-se a melhor proporção de incorporação do lodo na matriz de argila, sendo este, considerado padrão para futuros ensaios com blocos cerâmicos em escala real.

3.5.2 Delineamento dos Experimentos para Produção de Blocos Cerâmicos na Escala Real.

A segunda fase experimental consistiu de testes com blocos de vedação em escala real, tendo como objetivo, a determinação de suas características, no que se refere aos parâmetros físicos, químicos e mecânicos, utilizando formulação determinada na fase preliminar em escala reduzida, na melhor proporção.

A melhor proporção de lodo/argila, para produção de blocos cerâmicos sem a perda das qualidades essenciais, assim como a viabilidade de produção em escala industrial, foi possível após a verificação das conformidades junto às normas vigentes.

Com essa proporção lodo/argila otimizada, foram produzidas 450 unidades de blocos de vedação com seis furos, com dimensão de 190 mm de comprimento, 90 mm de largura e 140 mm de altura, além de 450 unidades de blocos controle, produzidas apenas com argila.

A quantidade de blocos cerâmicos foi estabelecida com base nas amostragens mínimas necessárias exigidas nas normas NBR 15270-3/2005, para os ensaios físicos, químicos e de resistência mecânica, NBR 13528/1995, para determinação da resistência de aderência à tração em parede de alvenaria utilizando bloco incorporado com lodo, e NBR 13749/1996, especificação do revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.

3.6 PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3

3.6.1 Preparação e mistura de lodo com argila

As quantidades em peso de 5, 10, 15, 20, e 25% de lodo seco e peneirado na matriz argila, foram calculadas considerando a massa seca de ambos os materiais.

Foram produzidas diversas porções de 50 Kg de massa representativa, em cada proporção lodo/argila (Figura 3.4). Realizou-se a mistura inicial dos dois componentes moídos de maneira homogênea, com auxílio do misturador cilíndrico de barras, adaptado com motor elétrico de 2 Hp, com 30 rotações por minuto, durante 15 minutos.

Após a mistura, a massa seca foi retirada e colocada em recipiente para umedecimento até a formação de massa pastosa, com plasticidade adequada para moldagem, adicionando água de maneira gradativa, evitando o excesso. Na prática, o excesso de umidade na massa tende a provocar redução na qualidade durante a produção dos blocos, isto é, há uma formação de "escamas superficiais", além de aumentar a flacidez nas peças pelo fato da massa ser mais pastosa e menos coesa. A flacidez das peças conformadas após extrusão tem como conseqüência a deformação geométrica e empenamento dos blocos produzidos, decorrente do próprio peso, por conta da ausência de rigidez estrutural, ocorrendo principalmente durante o manuseio e transporte para secagem.

Figura 3.4 - Mistura do lodo com argila para produção dos blocos cerâmicos

3.6.2 Produção de blocos de vedação em escala reduzida, 1:3

A qualidade dos blocos cerâmicos dependeu, essencialmente, da operação da extrusora (Figura 3.5). Durante a operação para produção de amostras de blocos, foram necessárias precauções operacionais, visando maximizar a qualidade das amostras produzidas na extrusora de laboratório, marca Gelenski, modelo MVIG-05.

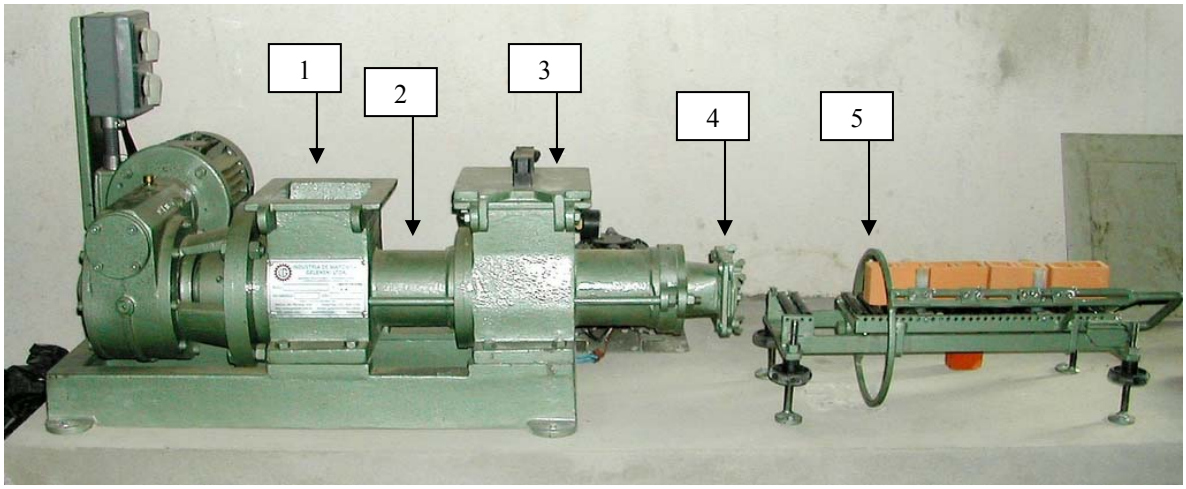


Figura 3.5 - Extrusora de laboratório equipada com caixa alimentadora (1), adensador (2), câmara de vácuo (3), boquilha (4) e mesa de corte (5).

A massa para conformação dos blocos utilizando a extrusora conhecida também como "maromba", passou por processo de adensamento. Durante a produção, a caixa alimentadora de massa foi abastecida de forma contínua, evitando com esse procedimento, a formação de blocos defeituosos.

O adensador é o compartimento acoplado à extrusora que recebe continuamente a massa proveniente da caixa alimentadora, retirando parte do ar incorporado na massa, que segue para a câmara de vácuo por meio de um eixo helicoidal.

A câmara de vácuo é mantida regulada com pressão interna entre 560 mmHg e 635 mmHg, segundo recomendação do fabricante. Caso não houvesse a completa retirada do ar da massa, poderia ocorrer a produção de blocos frágeis e sem resistência estrutural, por conta da porosidade na massa.

A extrusão ocorre durante a passagem da massa, sob alta pressão pela boquilha, pressionada pela contínua rotação do eixo helicoidal, tal que, a massa saia em formato de barra com seção retangular. Boquilha é a peça em aço feita no formato e dimensão do perfil do bloco de vedação que é instalada na saída da extrusora para moldagem da massa.

As barras são secionadas por meio de fios de aço, em tamanho regulado para o comprimento padrão do bloco. O ajuste do comprimento é realizado de acordo com a retração que o bloco sofrerá durante a secagem e a queima. Essa retração a princípio é considerada 10%, portanto, o ajuste para o comprimento do bloco em estudo foi de 70 mm.

A mesa de corte com roletes, adaptado na saída da extrusora, é equipada com cortador do tipo fio metálico, acoplado no volante, cujo movimento é da esquerda para direita ou de cima para baixo e vice-versa, com controle manual ou automático, executando o corte da barra de bloco saindo da boquilha, na medida prevista na norma NBR 15270-1/2005.

Durante o transporte dos blocos “frescos”, foram tomadas precauções quanto ao seu manuseio e sua disposição para secagem no galpão, onde esses blocos ainda moles poderiam sofrer deformações. A deformação geométrica poderia ser provocada pelo peso próprio, ou pelo empilhamento desordenado das peças na prateleira de secagem.

3.6.3 Processo de secagem dos blocos de vedação

A secagem dos blocos de vedação, etapa anterior à queima, tem grande importância, uma vez que pode interferir na qualidade dos produtos cerâmicos. Segundo Cadé (2005), no processo de secagem, sem o devido controle, elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do sólido podem causar defeitos irreversíveis no mesmo, como o aparecimento de trincas, deformações e empenamentos. Isto geraria perda da qualidade do

produto final, ou sua perda total, diminuindo a produtividade do processo e aumentando custos operacionais.

A extrusora de laboratório manteve temperaturas de trabalho entre 40 ^{o}C e 60 ^{o}C, devido ao atrito interno, produzido pela passagem da massa úmida, que ao ser pressionada para extrusão, causava o aquecimento dos blocos durante a produção. Esses blocos recém produzidos não foram expostos à ambiente com forte ventilação ou insolação, evitando com essa medida, o surgimento de fissuras superficiais.

A secagem dos blocos foi realizada de forma lenta em ambiente fechado (Figura 3.6), a princípio com pouca circulação de ar, e dessa forma, a massa constituinte dos blocos teve retração lenta, mantendo-os intactos e isentos de trincas ou fissuras. Por conta do baixo gradiente de umidade e temperatura, a evaporação foi gradativa, conseqüentemente as amostras dos blocos ficaram prontos para queima, em sete dias.

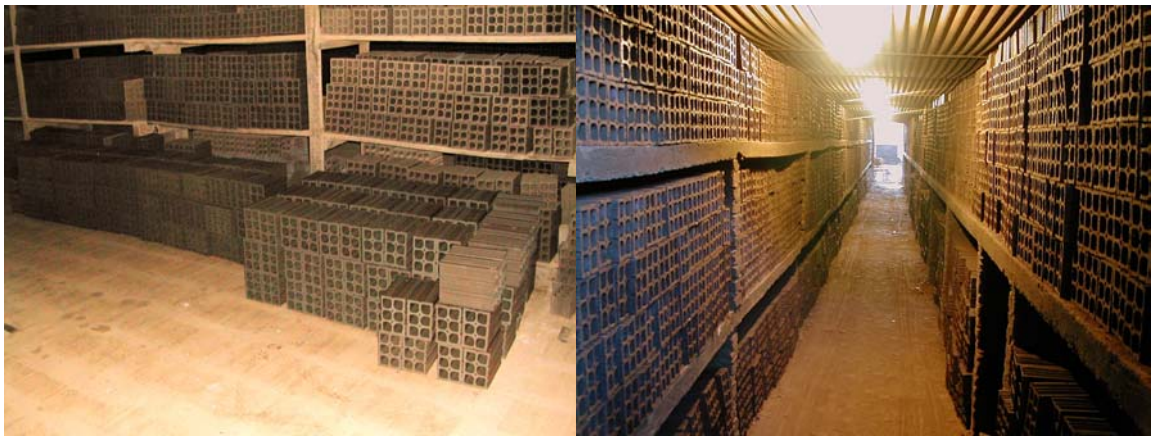


Figura 3.6 - Secagem dos blocos de vedação em galpões antes da queima.

3.6.4 Condições de queima dos blocos de vedação na indústria cerâmica

Depois da secagem dos blocos, vem o processo de queima, que também exige cuidado, podendo ocorrer nessa etapa, perda total do lote de uma fornada. Para evitar esse prejuízo, há necessidade de controle no tempo de queima, temperatura, controle de ventilação interna do forno, tipo de combustível para a queima, controle da temperatura durante a queima e finalmente o resfriamento controlado dos blocos ainda no forno.

O tempo total de queima foi de 72 horas, sendo as primeiras 24 horas, denominadas queima lenta, isto é, aquecimento paulatino começando por 40 ^{o}C chegando à 200°C. A

temperatura interna do forno fica em contínuo aumento durante as próximas 24 horas, atingindo 850 ^{o}C até 1100 ^{o}C. Para manter a gradativa elevação, até atingir a temperatura máxima, é necessária uma contínua ventilação forçada por aparelhos que, lançam também pó de serra de madeira ou pó de bagaço de cana nas duas pequenas aberturas para queima do forno, que é mantido em constante chama.

Nesse processo de combustão durante 24 horas, elevou-se a temperatura a 1100 ^{o}C, na parte superior e 850 ^{o}C na parte inferior do forno. A contínua exaustão ou circulação do ar dentro do forno, durante a queima, além de produzir a incandescência e elevada temperatura devido à oxigenação, permitiu também a distribuição do calor em todo o espaço interno. Em conseqüência dessa distribuição de calor, houve a uniformidade da queima dos blocos cerâmicos no interior do forno em torno de 930 ^{o}C.

A distribuição do calor interno foi possível devido às características de construção do forno, em que o piso é feito em forma de grelha, sobre canaletas interligadas com dutos, provenientes de potentes equipamentos elétricos de exaustão. O ar quente da exaustão foi continuamente lançado nos dutos interligados aos galpões-estufa, ou câmaras de secagem de blocos semi-secos. A câmara de secagem tem como finalidade, acelerar o processo de secagem, aproveitando o ar quente proveniente dos fornos, proporcionando economia em torno de 50% do tempo convencional de secagem, possibilitando o atendimento à grande demanda na produção de peças cerâmicas. Na câmara de secagem normalmente são estocados somente blocos com quatro dias de secagem convencional, com pouca possibilidade de ocorrer fissuração.

Após 72 horas de queima, a queima da fornalha é interrompida, passando para a fase de resfriamento gradativo, ainda com o funcionamento do exaustor durante 12 horas, antes da abertura do forno. Junto às duas portas principais do forno, são instalados dois grandes ventiladores para realização completa do resfriamento durante 6 horas, só depois, os blocos queimados são retirados e transportados para o galpão e em seguida para comercialização.

A lenha, o pó de serra de madeira e o bagaço de cana que são utilizados como combustíveis para queima nos fornos, também devem ser isentos de umidade. Quanto mais seco for a lenha ou o pó de madeira, maior será a combustão e conseqüentemente menor é o tempo para atingir a temperatura ideal da queima.

O forno utilizado para queima foi do tipo Hoffmam (Figura 3.7), com formato cilíndrico medindo seis metros de diâmetro interno e cobertura em forma de abóbada, com paredes

de um metro de espessura, com três metros de altura e duas portas para abastecimento ou retirada de blocos cerâmicos, adaptados com duas janelas para queima. O forno tem capacidade para queimar 30000 blocos de vedação por carregamento.

Assim, as 900 unidades de amostras produzidas foram empilhadas no centro do forno em altura média entre o piso e o teto, posteriormente queimadas e resfriadas convencionalmente, junto aos demais blocos de vedação produzidos pela empresa.

Figura 3.7 - Forno tipo Hoffman para queima dos blocos cerâmicos

3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA

3.7.1 Características Químicas

Para análises laboratoriais, foram preparadas amostras de blocos cerâmicos produzidas de cada formulação, a saber: 5, 10, 15, 20, 25%, além de blocos controle. As amostras foram trituradas e passadas em peneira com malha 2 mm, na qual foram obtidos os extratos lixiviados e solubilizados desses materiais, de acordo com os procedimentos descritos na norma NBR 10004/2004.

3.7.2 Características Físicas

3.7.2.1 Absorção de água

De acordo com os procedimentos da norma NBR 15270-3/2005, para realização do ensaio de absorção de água, as amostras foram limpas, com as rebarbas retiradas e colocadas em ambiente protegido, para que se preservassem suas características originais.

Para os ensaios de absorção de água, utilizou-se da estufa Quimis que manteve temperatura entre (105 $\pm$ 5) ^{o}C e balança Gerraka modelo 2000 com sensibilidade de 1,0 g.

O preparo das amostras consistiu em retirar o pó e outras partículas soltas, em seguida as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 105 ^{o}C, até a estabilização do peso. As amostras foram retiradas da estufa e pesadas imediatamente, obtendo-se a massa seca.

Após a determinação da massa seca (Ms) em gramas, as amostras foram colocadas em um recipiente de dimensões apropriadas, preenchido com água à temperatura ambiente, em volume suficiente para mantê-las totalmente imersas durante 24 horas. Após esse período, as amostras foram removidas e colocadas em bancada para permitir o escoamento do excesso de água.

De acordo com a norma, o tempo decorrido entre a remoção do excesso de água da superfície, e o término das pesagens, não deve exceder 15 minutos. A massa úmida (Mu) em gramas, foi determinada pela pesagem de cada amostra saturada. O valor da absorção de água foi determinado pela expressão:

$$AA\ (\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms}\ x\ 100\ ,\ \text{em que}$$

AA (%) é o índice de absorção de água; Mu = massa úmida; Ms = massa seca.

3.7.2.2 Retração Linear

Para verificação da retração linear procedeu-se medições geométricas das amostras dos blocos, considerando o comprimento, largura e altura de cada peça, logo após a conformação, ainda úmido e após a queima. A diferença das medidas entre uma etapa e outra, representou a retração linear.

Utilizou-se para o ensaio, 20 amostras de blocos cerâmicos de cada formulação (blocos com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% lodo), além dos blocos controle, totalizando 120 peças. Considerou-se como resultado válido, o valor médio das 20 amostras de cada formulação.

3.7.2.3 Características Geométricas

A verificação das conformações geométricas foi feita de acordo com as recomendações da norma NBR 15270-3/2005, com medições dimensionais de cada amostra de bloco cerâmico queimado, considerando o comprimento (C), largura (L) e altura (H), utilizando-se de régua metálica.

Para a determinação do desvio em relação ao esquadro (D), foi medido o desvio entre uma das faces destinadas ao assentamento e a maior face destinada ao revestimento do bloco, conforme Figura 3.11, item 3.9.2.3, empregando-se o esquadro metálico e a régua metálica.

A medição referente à planeza das faces destinadas ao revestimento foi determinada por meio da flecha formada na diagonal do bloco de vedação, empregando-se o esquadro metálico e a régua metálica (Figura 3.12, item 3.9.2.3).

As medições das espessuras das paredes externas e septos dos blocos de vedação foram realizadas empregando-se régua metálica, de acordo com o apresentado na Figura 3.13, item 3.9.2.3.

3.7.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A caracterização dos blocos cerâmicos referente à análise de superfície, foi realizada por meio do ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O Microscópio Eletrônico de Varredura permitiu a observação e análise micro-estrutural da massa cerâmica.

Para o caso deste estudo, a MEV foi meramente ilustrativa, para visualização das conformações estruturais de cada amostra de bloco cerâmico, nas diferentes formulações de lodo empregado na massa de argila. Utilizou-se para essa finalidade, o Microscópio Eletrônico de Varredura modelo SS-550 da marca Shimadzu.

3.7.3 Características Mecânicas

3.7.3.1 Resistência à Compressão

As caracterizações dos blocos cerâmicos quanto à resistência mecânica, foram realizadas conforme procedimentos descritos na norma NBR 15270-3/2005. Os blocos ensaiados foram identificados, limpos e retirados as rebarbas.

Utilizou-se para esse ensaio, 20 amostras de blocos cerâmicos controle, produzidos apenas com argila, e 20 amostras de cada formulação de blocos cerâmicos, com incorporação de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de lodo, observando recomendações da norma.

Para o ensaio de resistência à compressão axial, foi utilizada a prensa modelo CBR 109 com capacidade para 4000 Kg, provida de dispositivo que assegurou a distribuição uniforme dos esforços nas amostras ensaiadas e transmitiu a carga de modo progressivo e sem choques.

O procedimento para o ensaio consistiu em medir o comprimento, largura e altura dos blocos para determinação da área de assentamento de cada peça. Em seguida foi efetuado o capeamento com espessura de dois milímetros nas faces opostas destinadas ao assentamento, Figura 3.8. O capeamento tem como finalidade a regularização das faces de assentamento para distribuição dos esforços aplicados pela prensa em toda a área envolvida, e para isso, foi utilizado enxofre aquecido em forma líquida.

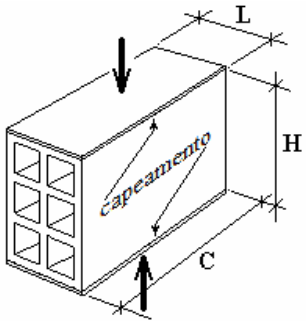


Figura 3.8 – Capeamento da amostra para ensaio de resistência à compressão.

Os blocos foram ensaiados em condição saturada, após 24 horas de imersão na água. A carga foi aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego, sempre perpendicular ao comprimento e na face destinada ao assentamento. Os comandos da prensa foram regulados de forma que a tensão aplicada calculada em relação à área bruta se elevou à razão de 0,05 MPa/s.

A resistência à compressão expressa em megapascals (MPa) de cada amostra, foi obtida dividindo-se a carga máxima, expressa em newtons, observada durante o ensaio, pela média das áreas brutas das duas faces de trabalho de cada bloco, expressa em milímetros quadrados.

3.8 PRODUÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO EM ESCALA REAL.

3.8.1 Preparação e mistura do lodo com argila para produção de blocos.

Após verificar os limites de incorporação de lodo à argila, ou seja, aquelas formulações nas quais, não havia perda de qualidade do bloco, em relação ao bloco controle, nem tampouco haveria danos ao ambiente e aos usuários do produto, realizou-se a produção de blocos de vedação, em escala real.

Com o mesmo processo já descrito para preparação dos blocos reduzidos, foram preparadas duas formulações de massa para produção de blocos na escala real. Produziram-se massas em porções de 200 Kg na formulação de 15% de lodo para 85% de argila matriz, e mais 200 Kg de massa para produção de bloco controle, somente com argila.

Por conta da quantidade necessária de mistura, para produção de aproximadamente 450 peças, optou-se em moer e misturar o lodo com argila no Laboratório de Materiais da UEM, levando posteriormente a mistura homogeneizada ainda seca, para as instalações da indústria Ki-Lajes de Japurá, para a realização das etapas seguintes na produção de blocos em escala real.

Durante o processo de homogeneização, o lodo seco, peneirado com malha de dois milímetros, foi incorporado manualmente à massa de argila e posteriormente homogeneizado, utilizando-se o misturador cilíndrico de barras com capacidade para 30 kg de material seco.

3.8.2 Fabricação de blocos de vedação na escala real.

A Indústria Cerâmica Ki-Lajes, é uma indústria de médio porte, semi-automatizada, onde predominam técnicas mecanizadas de fabricação, produzindo atualmente, blocos de vedação e lajotas (Figura 3.9).

A produção de amostras com o composto preparado de lodo e argila foi introduzido na tremonha (caixa alimentadora) acoplado ao misturador e posteriormente umedecido com água para facilitar a homogeneização seguindo para o laminador, garantindo maior rigor na mistura. A mistura em forma de pasta consistente foi transportada por meio de correia para extrusão, utilizando-se o equipamento Verdés, com capacidade para produção de 80 blocos por minuto, equipado com câmara de vácuo para retirada do ar incorporado. A massa extrudada em forma de barra contínua, foi cortada em tamanhos pré-fixados de 210 mm de comprimento, utilizando-se cortadeira automática de 5 fios de aço tencionados.

Os blocos produzidos foram transportados para o galpão de secagem, permanecendo durante sete dias em média, antes da queima.

Figura 3.9 – Linha de produção de blocos na Cerâmica Ki-Lajes em Japurá – PR

3.8.3 Processo de secagem dos blocos cerâmicos em escala real.

Os blocos de ensaios produzidos em escala real foram secados com os procedimentos semelhantes à dos blocos reduzidos, descritos no item 2.6.3, com as mesmas condições dos demais blocos produzidos regularmente na indústria, mantendo as peças fabricadas em temperatura ambiente, feita no interior de galpão, sem incidência de luz solar ou vento. Após a secagem natural, durante sete dias, os blocos de ensaio foram colocados no interior do forno tipo Hoffman, praticamente no centro do forno numa altura aproximada de 1,5 m do piso, para garantir uma queima homogênea.

3.8.4 Processo de queima dos blocos cerâmicos em escala real.

Realizou-se de acordo com os mesmos procedimentos descritos no item 3.6.4, para blocos de escala reduzida.

3.9 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS DE ESCALA REAL.

3.9.1 Características Químicas dos Blocos Cerâmicos em Escala Real.

3.9.1.1 Lixiviação e Solubilização do bloco cerâmico.

Os ensaios de lixiviação e solubilização visam a simular o comportamento do bloco cerâmico, submetido a uma situação crítica de utilização. Paredes de alvenaria sem revestimento ou mesmo, fragmentos de blocos após uma demolição de parede, podem ficar expostos à lavagem por água de chuva, o que poderia provocar a contaminação do solo e do lençol freático, com o processo de infiltração de elementos tóxicos incorporados na massa cerâmica.

A obtenção dos extratos lixiviados e solubilizados, das amostras dos blocos cerâmicos, foi realizada de acordo com os procedimentos das normas da ABNT, NBR 10005/2004 e 10006/2004, respectivamente. Os resultados foram comparados com valores descritos nos anexos F e G da norma ABNT 10004/2004, que apresenta a listagem das concentrações mínimas dos principais metais tóxicos.

3.9.1.2 Especiação Química nas amostras de bloco cerâmico em escala real

Especiação química pode ser definida como uma técnica de identificação e quantificação das diferentes fases, formas ou espécies de um elemento presentes em um material (LIMA, 2001). O processo que se utiliza de extração seqüencial, consiste de uma sucessão de etapas de ensaio na mesma amostra, na qual as formas extraíveis dos elementos traços são determinadas. A amostra é tratada com uma sucessão de reagentes extratores, com o objetivo de dissolver suas diferentes fases ou frações, determinando dessa forma, os metais associados.

Com a concentração do metal determinada em cada uma das extrações, podem-se obter informações sobre a origem, maneira de ocorrência, disponibilidade físico-química e biológica, transporte e mobilização do metal (TESSIER, 1979).

Os extratores podem ser classificados em concentrados de eletrólitos inertes, ácidos fracos, agentes redutores, agentes complexantes, agentes oxidantes e ácidos minerais fortes. Cada extrator seqüencialmente adicionado numa certa amostra tem uma ação química mais drástica, e de diferente natureza que a anterior (TESSIER, 1979).

A progressão tem início utilizando-se um extrator fraco, como água, e termina com um extrator forte, como um ácido concentrado (KOTAS, 2000).

O método de extração seqüencial utilizado nesse trabalho foi o processo desenvolvido por (TESSIER, 1979), no qual os metais são separados operacionalmente, de acordo com as cinco frações definidas como:

Fração 1 – Trocável. As amostras foram extraídas com solução 1,0 Molar de Cloreto de Magnésio ($MgCl_2$), em pH 7, a uma razão sólido/solução de 1:8, com agitação contínua por uma hora, a temperatura ambiente.

Fração 2 – Ligada a carbonatos. O sólido remanescente da etapa anterior foi extraído com solução de Acetato de Sódio 1 Molar, ajustado a pH 5 com Ácido Acético, a uma razão sólido/solução de 1:8, com agitação contínua por cinco horas, a temperatura ambiente.

Fração 3 – Ligada a óxido de Ferro e Manganês. O sólido remanescente da etapa anterior foi extraído com solução de Cloridrato de Hidroxilamina ($NH_2OH \cdot HCl$) 0,04 Molar, dissolvido em Ácido Acético à 25% (v/v), a uma razão sólido/solução de 1:20, com agitação ocasional, por seis horas a 96 ± 3 ^oC.

Fração 4 – Ligada a matéria orgânica/sulfetos. O sólido remanescente da etapa anterior foi extraído com solução de Ácido Nítrico (HNO_3) 0,02 Molar, a uma razão sólido/solução de 1:3, e Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) à 30% ajustado a pH 2 com HNO_3, a uma razão sólido/solução 1:5, com agitação ocasional por duas horas, a 85 ± 2 ^oC. Uma segunda alíquota de H_2O_2 30% (ajustado a pH 2 com HNO_3), a uma razão sólido/solução 1:3, foi adicionada, e a solução foi aquecida novamente a 85 ± 2 ^oC, por três horas com agitação esporádica. Depois de resfriado, foi adicionado solução de Acetato de Amônia 3,2 Molar, dissolvido em HNO_3 20% (v/v), a uma razão sólido/solução 1:5, com agitação contínua por 30 minutos.

Fração 5 – Residual. O sólido remanescente da extração anterior foi digerido com solução ácida. Cerca de 0,200g de amostra foram digeridas em frasco de Teflon com 0,5 mL de água régia (HNO_3 e HCl na proporção 1:3) e 3 mL de ácido fluorídrico. O volume da amostra foi reduzido significativamente pela ocorrência da solubilização. Em seguida, o

sistema foi retirado da chapa de aquecimento e resfriado em banho-maria. Após o resfriamento, foi adicionado 10 mL de água desionizada, 5 mL de H_3BO_3 4% e 1 mL de HCl concentrado (fumegante), e o sistema foi levado novamente ao aquecimento até a solução adquirir um aspecto límpido. Por fim, o mesmo foi resfriado e transferido para um balão volumétrico de 100 mL, completando o volume com água desionizada. A solução foi estocada em recipiente de polietileno.

Entre cada extração sucessiva, a separação era efetuada por centrifugação durante 30 minutos, e o sobrenadante removido com pipeta, e em seguida analisado para metais traços. Todas as vidrarias utilizadas para os experimentos foram previamente descontaminadas com solução de HNO_3 20% (v/v) e enxaguadas com água destilada e desionizada.

De maneira geral, os resíduos apresentaram uma distribuição de metais nas diferentes frações obtidas pela metodologia de extração seqüencial, podendo comparar o fracionamento químico das amostras dos blocos cerâmicos incorporados com 15% de resíduo têxtil, antes da queima e depois da queima em forno de indústria cerâmica, detectando em que fase os metais se encontram fixados.

3.9.2 Características Físicas dos Blocos Cerâmicos em Escala Real

3.9.2.1 Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi realizado conforme os procedimentos descritos no item 3.7.2.1, para blocos cerâmicos de escala reduzida.

3.9.2.2 Retração Linear

O ensaio de retração linear foi realizado conforme os procedimentos descritos no item 3.7.2.2, para blocos cerâmicos de escala reduzida.

Na prática, as camadas externas dos blocos recém conformados pela extrusora secam mais rápido que o interior do mesmo, ocorrendo uma contração na estrutura, produzindo a redução nas dimensões do bloco, portanto no seu volume. Esta redução de volume do bloco corresponde geralmente à perda de água evaporada durante a secagem e após a queima.

Vazios internos na estrutura do material cerâmico reduzem a massa contida num certo volume, e conseqüentemente, a densidade aparente é menor que a densidade final da fase sólida (REED, 1996).

3.9.2.3 Características geométricas

Considerando o formato geométrico do bloco cerâmico, foram verificados três dimensões principais do produto, a largura (L), a altura (H) e o comprimento (C) e sua conformidade aos parâmetros definidos pela norma NBR 15270-3/2005, (Figura 3.10).

Para a verificação dimensional do produto, foram utilizados os seguintes procedimentos: medição das dimensões das amostras de forma individual e determinação das médias das dimensões, utilizando a medição bloco a bloco.

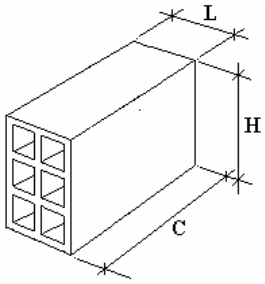


Figura 3.10 - Medidas das Faces (L = largura, H = altura, C = comprimento)

O desvio D é medido com o auxílio de um instrumento denominado esquadro metálico e visa verificar a perpendicularidade entre a base do bloco, onde é feito o assentamento, e a sua face externa destinada ao revestimento (Figura 3.11). A não conformidade neste ensaio indica que a parede poderá ter problemas de plumo, ou seja, poderá ficar "torta".

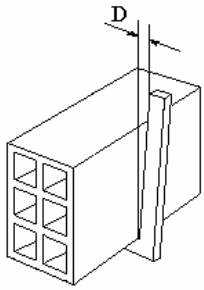


Figura 3.11 - Desvio em Relação ao Esquadro (D)

A Planeza das Faces é o ensaio realizado com o auxílio de uma régua metálica, e verifica se as faces externas das amostras de blocos cerâmicos são planas, ou seja, se não apresentam depressões acima do limite permitido por norma (Figura 3.12).

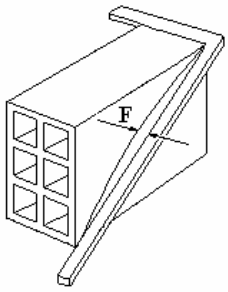


Figura 3.12 - Planeza das Faces ou Flecha (F)

Neste caso, a não conformidade está relacionada com o aparecimento de irregularidades, principalmente, durante a etapa de revestimento, pois a argamassa de reboco apresentará variações de espessura o que representará maiores ônus para os consumidores que, na tentativa de corrigir o problema, terão que utilizar quantidade maior de argamassa.

As espessuras das paredes e septos dos blocos cerâmicos estão diretamente relacionadas com a sua resistência mecânica à compressão. A norma NBR 15270-3/2005 estabelece que as espessuras de paredes externas (e) e septos (s) dos blocos cerâmicos de vedação sejam maiores que sete milímetros (Figura 3.13).

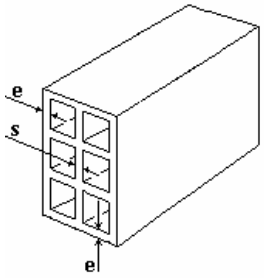


Figura 3.13 - Espessuras das paredes externas e septos

3.9.2.4 Difração de Raio-X (DRX) em amostras de blocos cerâmicos

O ensaio de DRX tem como finalidade a identificação dos minerais presentes na massa que compõe a estrutura do bloco cerâmico antes e depois da queima. A análise quantitativa dos minerais presentes será determinada na fração argila livres dos óxidos de ferro e a quantificação dos óxidos de ferro presentes em amostras da argila cerâmica, bloco controle e bloco com 15% de lodo.

A determinação dos minerais das formas livres de Ferro e Alumínio da fração argila, tem a finalidade de verificar a quantificação de minerais que possuem propriedade fundamental de plasticidade para permitir que massas argilosas atinjam a consistência adequada.

Segundo Vieira (2003), a massa cerâmica caulinítica é caracterizada por apresentar baixo percentual de óxidos alcalinos, elevado teor de alumina e elevada perda ao fogo. Argilas cauliníticas são próprias para moldagem por extrusão pela sua característica de alta plasticidade, porém o seu comportamento refratário durante a queima nestes produtos apresenta elevada porosidade, elevando os valores de absorção de água.

A argila caulinítica apresenta uma menor quantidade de óxidos fundentes, provocando a formação da fase líquida de modo mais lento e em menor quantidade, possibilitando assim uma densificação mais homogênea das peças, sem deformação (GOMES, 1986).

Os ensaios de DRX foram realizados no Laboratório de Química e Mineralogia do Solo do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, utilizando-se o equipamento Shimadzu XRD-6000, com radiação de CuKα e filtro de níquel, operando a 30 mA e 40 kV, numa varredura escalonada de 0,02 $^{o}2\theta$ por 0,6 segundos numa amplitude de 5 a 80 $^{o}2\theta$.

3.9.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O ensaio da MEV foi realizado conforme os procedimentos descritos no item 3.7.2.4 para blocos cerâmicos de escala reduzida.

3.9.3 Características Mecânicas.

3.9.3.1 Resistência à Compressão nos Blocos Cerâmicos em Escala Real.

O ensaio de resistência à compressão em blocos na escala real obedeceu aos mesmos procedimentos descritos no item 3.7.3.1, para blocos na escala reduzida. O ensaio de resistência à compressão verificou a capacidade de carga que os blocos cerâmicos de escala real suportam, quando submetidos à força exercida perpendicularmente sobre suas faces opostas de assentamento, e determina se as amostras oferecem resistência mecânica adequada, simulando a pressão exercida pelo peso da construção sobre os blocos. O não atendimento aos parâmetros normativos mínimos indica que a parede poderá apresentar

problemas estruturais como rachaduras e, conseqüentemente, oferecerá riscos de desabamento à construção.

As regularizações das áreas brutas, feitas com capeamento dos blocos em escala real, foram realizadas conforme a NBR 15270-3/2005, seguindo os mesmos procedimentos descritos para os blocos em escala reduzida.

Para o ensaio de resistência à compressão nas amostras de blocos em escala real, foi utilizada a prensa modelo EMU 100, com capacidade para 20000 Kg (Figura 3.14).

Durante os ensaios, foram utilizadas partidas de 20 amostras de blocos cerâmicos controle e 20 amostras de blocos cerâmicos com incorporação de 15% de lodo, observando recomendações da norma. Considerou-se a média aritmética dos resultados individuais, para determinação do resultado final.

Figura 3.14 – Equipamento para ensaio de resistência à compressão - bloco cerâmico em escala real.

3.9.3.2 Resistência de Aderência à Tração da Argamassa de Reboco em Alvenaria de Blocos cerâmicos.

Com a hipótese de que a mistura de lodo na massa de argila poderia causar aumento da porosidade na estrutura do bloco cerâmico e, conseqüentemente, a migração da solução de cimento no substrato, durante a aplicação da argamassa, provocando o aumento da aderência da argamassa, aplicou-se o ensaio de resistência à tração da argamassa de reboco no substrato de alvenaria de blocos cerâmicos com e sem lodo.

Neste trabalho, foram avaliadas possíveis alterações nas propriedades físicas quanto à aderência da argamassa junto ao substrato formado por blocos cerâmicos, com incorporação de 15% de lodo, comparando com blocos cerâmicos controle, visando diferenciar a influência da porosidade superficial formada nos dois tipos de blocos.

Com esse objetivo, aplicou-se o revestimento de argamassa em camada única, dispensando a aplicação do chapisco. Esse processo, mais conhecido por "reboco paulista", é hoje utilizado em muitas obras de construção civil, principalmente em paredes de alvenarias de blocos rugosos, reduzindo com essa prática, o material utilizado na obra e conseqüentemente o custo da construção.

O ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa de reboco, conhecido como o teste de "arrancamento", é um ensaio realizado pelo método prescrito na norma NBR 13528/1995 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicos - Determinação da resistência à tração – Método de ensaio. A avaliação da aderência é feita segundo a norma NBR 13749/1996 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação, ambas da ABNT.

Consideradas as interfaces argamassa/bloco cerâmico, os detalhes construtivos e os processos executivos envolvidos são bases fundamentais para obtenção de revestimento de boa qualidade. Como os blocos são o componente principal, a função da argamassa é proporcionar adesão entre eles e resistir à tração, suportando o peso próprio e o revestimento de acabamento, tais como: pinturas, azulejos, pastilhas, placas decorativas de rocha etc.

Conforme procedimento da norma, a avaliação da aderência dos revestimentos acabados em pontos suspeitos, é determinado com ensaios de percussão, realizados por meio de impactos leves, não contundentes, utilizando martelo de madeira ou outro instrumento rijo. Os revestimentos que apresentarem som cavo nesta inspeção, por amostragem, devem ser integralmente percutidos para se estimar a área total com falha de aderência, a ser reparada.

Os corpos-de-prova podem ser preparados no local, em revestimentos de construções acabadas, antigas ou recentes, ou preparados em laboratório, em revestimentos aplicados sobre painéis de alvenaria de blocos, ensaiando pelo menos seis corpos-de-prova, para cada situação, espaçadas entre si em no mínimo 50 mm (Figura 3.15).

Figura 3.15 – Corpos-de-prova locados na parede experimental de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de argamassa

Para se realizar o teste em paredes ou tetos, o equipamento de tração, mecânico ou hidráulico, deve permitir a aplicação lenta e progressiva da carga, possuir articulação para assegurar a aplicação do esforço da tração simples, e dispositivo para leitura da carga. O mecanismo para a medida da carga aplicada deve ser tal que a leitura obtida apresente erro máximo de 2%. O ensaio foi realizado, selecionando a taxa de carregamento, conforme Tabela 3.2, em função da resistência de aderência à tração provável, e de tal modo que o ensaio durou entre 10 e 80 segundos.

Tabela 3.2 - Taxa de carregamento para amostras de seção circular de 50 mm de diâmetro. Fonte: ABNT/NBR 13528/1995

Resistência de aderência (MPa)	Taxa de carregamento (N/s)
Até 0,20	5
Acima de 0,20 a 0,50	25
Acima de 0,50 a 1,00	100
Acima de 1,00	200

O cálculo da resistência de aderência à tração é feito pela seguinte expressão:

Ra = P/A, em que Ra é a resistência à tração em MPa; P é a carga de ruptura em Newton, e A é a área da pastilha em mm^2.

A carga "P" e a área "A" devem ser introduzidas na expressão de cálculo em número inteiro, enquanto que os valores de resistência de aderência à tração devem ser expressos

com duas casas decimais. O cálculo da média e do coeficiente de variação da resistência de aderência à tração somente pode ser feito para as pastilhas que apresentam a mesma forma de ruptura. A forma de ruptura poderá ocorrer nas interfaces pastilha/argamassa, argamassa, argamassa/substrato ou substrato.

Para avaliação dos revestimentos acabados em paredes, segundo a norma, devem ser realizadas as execuções de pelo menos seis ensaios de resistência de aderência à tração, em pontos escolhidos aleatoriamente, a cada 100 m^2 ou menos, da área a ser analisada. O revestimento desta área deve ser aceito se, de cada grupo de seis ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias), pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores aos indicados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Limites de Resistência de Aderência à Tração para Emboço e Camada Única
Fonte: ABNT NBR 13749:1996

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Paredes	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq$ 0,20
		Cerâmica ou laminado	$\geq$ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq$ 0,30
		Cerâmica	$\geq$ 0,30
Teto			$\geq$ 0,20

Os ensaios de resistência de aderência à tração foram realizados em parede de alvenaria construída com blocos cerâmicos incorporados com 15% de lodo, intercalados com blocos cerâmicos controle, feito apenas com argila. A parede, medindo dois metros de comprimento por um metro de altura, possibilitou a realização de ensaios nas duas faces, Figura 3.16.

Figura 3.16 – Construção da parede experimental

A argamassa utilizada foi produzida com cimento tipo CP IV–32, cal hidratada e areia média, no traço 1: 2: 8, em volume, preparada em betoneira de eixo inclinado, com capacidade para 40 litros de massa, utilizando-se a quantidade de água necessária para atingir o abatimento de 270 mm $\pm$ 10 mm.

A aplicação manual da argamassa na parede de alvenaria foi feita numa única camada de 20 mm, segundo a norma NBR 13749/1996. O controle da espessura durante a aplicação, foi realizado com gabarito fixo ao longo da parede, utilizando-se de pastilhas cerâmicas como guias fixadas em pontos estratégicos, regularizando-se a massa aplicada com auxílio de uma régua metálica, garantindo a uniformidade da espessura da argamassa na parede.

Após vinte e oito dias de cura em ambiente externo, a parede experimental foi submetida ao teste de resistência à aderência da argamassa. A locação dos pontos de testes foi realizada de tal forma que envolveu apenas as faces dos blocos, evitou-se posicionar os pontos nas juntas de assentamento entre os blocos para manter a fidelidade dos resultados durante o ensaio.

O ensaio de resistência à tração em argamassa de reboco foi realizada pela empresa contratada ContolNort – MJA Tecnologia e Consultoria Ltda, localizada em Maringá. Realizaram-se ensaios em quatro pontos (dois em blocos controle e dois em blocos com lodo), com seis amostras para cada ponto, totalizando vinte e quatro amostras.

O corte do revestimento para instalação das pastilhas de ensaio, consistiu em utilizar a serra copo cilíndrico de diâmetro interno 50 mm, e altura superior à espessura do

revestimento, adaptado a uma furadeira elétrica. Em cada ponto, o corte da argamassa foi realizado até o substrato, estendendo por mais 3 mm para dentro, sem prejudicar a integridade da amostra, como apresentado na Figura 3.17. A colagem da pastilha metálica não deformável sob carga de ensaio, de seção circular, com 50 mm de diâmetro, foi colada na superfície limpa do corpo de prova, utilizando-se de cola a base de epóxi.

Vinte e quatro horas após a colagem das pastilhas, iniciaram-se os ensaios de resistência à aderência da argamassa de emboço, na parede experimental construída com bloco cerâmico incorporados com 15% de lodo.

Figura 3.17 – Fixação das pastilhas para o teste de arrancamento de argamassa.

3.9.4 Avaliação da Volatilização dos Metais contidos nos Blocos Cerâmicos incorporados com lodo.

3.9.4.1 Balanço de Massa e Análise Estatística de Teste de Significância em Blocos Cerâmicos em Escala Real com 15% de Lodo.

A avaliação da volatilização dos metais pesados presentes nos blocos cerâmicos incorporados com 15% de lodo, durante o processo de queima foi realizada por meio do Balanço de Massa e do Teste de Significância.

O balanço de massa, nos blocos cerâmicos incorporados com 15% de lodo, consistiu em determinar a quantidade de metais presentes na massa de um determinado bloco selecionado aleatoriamente, antes e depois da queima.

Durante a queima desse bloco, ocorreu a volatilização da matéria orgânica contida no lodo, conseqüentemente há uma tendência para concentração dos metais presentes na massa. Dessa forma, é necessária que haja uma correção da concentração dos metais encontrados na massa seca do bloco queimado para a condição de massa úmida, comparando o valor

corrigido com a concentração de metais antes da queima do bloco, condição em que esses metais estavam presentes inicialmente, utilizando-se para isso, o teste de significância.

O teste de significância avalia o limite de confiança na diferença entre duas médias, tomando como hipótese que dois dados amostrais pertencem ao mesmo universo (PETERS, HAYES e HIEFTJE, 1974).

A média é calculada para cada dado amostral, $\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$, e cada média é uma estimativa de uma média de seu universo, μ_1 e μ_2. É inteiramente possível que $\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$ possam diferir, isto é, $\bar{x}_1$ - $\bar{x}_2$ = $\Delta\bar{x} \neq 0$, simplesmente devido à dispersão randômica dos dados. Esta diferença pode ocorrer mesmo se os dois dados amostrais forem extraídos de um mesmo universo, ou seja, $\mu_1 = \mu_2$. Assim, $\Delta\bar{x}$ é uma estimativa de $\Delta\mu$. Portanto, se o limite de confiança para $\Delta\bar{x}$ for maior que o próprio $|\Delta\bar{x}|$ existe uma boa chance de que o $\Delta\bar{x}$ seja zero e que $\Delta\mu = 0$.

Em geral, o limite de confiança para um conjunto de dados é definido por:

$$\text{Limite de confiança (LC)}_{\text{dados}} = \pm t_{\alpha,\varphi} \cdot S_{dados}, \qquad (1)$$

em que os dados φ tem graus de liberdade.

No estudo em questão, o interesse está no limite de confiança para $\Delta\bar{x}$, o qual é definido por:

$$\Delta\bar{x} = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \qquad (2)$$

O desvio padrão para um conjunto de dados é definido como:

$$S_{dados} = S_{\Delta\bar{x}} = S_x \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)^{1/2} \qquad (3)$$

em que n_1 e n_2 representam o número de amostras em cada conjunto de dados, e S_x é o desvio padrão para os dados como um todo. Dessa forma, a equação (1) é reescrita como:

$$\text{Limite de confiança (LC) para } \Delta\bar{x} = \text{LC} = \pm t_{\alpha,\varphi} \cdot S_{\Delta\bar{x}} = \pm t_{\alpha,\varphi} \cdot S_x \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)^{1/2} \qquad (4)$$

em que $\varphi = n_1 + n_2 - 2$, pois duas constantes ($\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$) foram calculadas dos dados, neste caso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA

Na Tabela 4.1 é apresentado o resultado de caracterização da argila. Observa-se que os **metais**: alumínio, ferro e sódio estão presentes em quantidades significativas na massa de argila.

Tabela 4.1 - Características da argila.

PARÂMETROS	ARGILA
Aspecto	Úmido
Umidade (%)	6,5
Densidade (g/cm^3)	2,8
Matéria Orgânica Total (%)	5,0
pH	5,3
Metais	**(mg/Kg)**
Alumínio	67.823,9
Chumbo	47,9
Cobre	40,3
Cromo	69,5
Ferro	32.136,4
Manganês	890,9
Sódio	7.045,8
Zinco	151,2
Arsênio	n.d
Bário	n.d
Cádmio	n.d
Mercúrio	n.d
Prata	n.d
Selênio	n.d

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

Segundo Leite (2000), o ferro pode estar presente, tanto sob a forma de óxidos isolados, quanto na forma de substituições isofórmicas na rede cristalina. A presença de ferro na

estrutura da argila leva à diminuição da estabilidade térmica. Vieira (2003) afirma que o alto teor de alumínio (AL_2O_3), tende a aumentar a refratariedade da massa.

A composição da matéria-prima argilosa geralmente se apresenta em forma de óxidos. Os óxidos de alumínio tendem a aumentar a temperatura da queima das argilas, já que seu ponto de fusão é de 2050 ^{O}C.

Os óxidos de ferro (Fe_2O_3) são responsáveis pela coloração vermelha ou amarela na maioria das argilas, facilitam a secagem, reduzem a plasticidade e diminuem a retração. Durante a sinterização, os óxidos de ferro proporcionam dureza à massa cerâmica, mas, reduzem a resistência mecânica.

Os óxidos de sódio (Na_2O) presentes na massa de argila geralmente na forma de feldspatos, são fundentes e conferem resistência mecânica, quando sinterizados entre 900 ^{o}C e 1000 ^{o}C, já os óxidos de manganês alteram apenas a cor da massa cerâmica para marrom.

Na Tabela 4.2 são apresentados os resultados referentes à consistência da argila, representada pelo limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP).

Tabela 4.2 - Limites de consistência da amostra de argila

PARÂMETRO	ARGILA
Limite de Plasticidade – LP (%)	26
Limite de Liquidez – LL (%)	61
Índice de Plasticidade – IP (%)	35

Verifica-se na Tabela 4.2 um limite de liquidez (LL) de 61%, o que indica uma argila de alta compressibilidade, tornando a massa mais densa durante extrusão. De acordo com Campos (1999), o limite de liquidez superior a 50%, indica que a argila apresenta alta compressibilidade. Para moldagem de tijolos furados por extrusão, as faixas de limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) recomendada para argilas plásticas, correspondem a: LL variando de 26,5% a 71,6%, e IP variando de 4,0% a 47,7%.

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados da análise granulométricos da argila. Verifica-se a composição de 50% de argila, 30% de silte, 18% de areia fina e 2% de areia

média. Essa composição granulométrica produz na prática, grande capacidade de coesão após o umedecimento adequado, proporcionando excelente moldagem dos blocos de forma a adquirir alta densidade durante a produção por meio de extrusão.

Tabela 4.3 - Análise granulométrica da argila.

AMOSTRA	(%) ARGILA	(%) SILTE	(%) AREIA FINA	(%) AREIA MÉDIA
Argila Bruta	50	30	18	2

Na figura 4.1 está representada o gráfico do resultado da classificação granulométrica, realizada na amostra de argila, com base em critérios estabelecidos na norma NBR 6508/84.

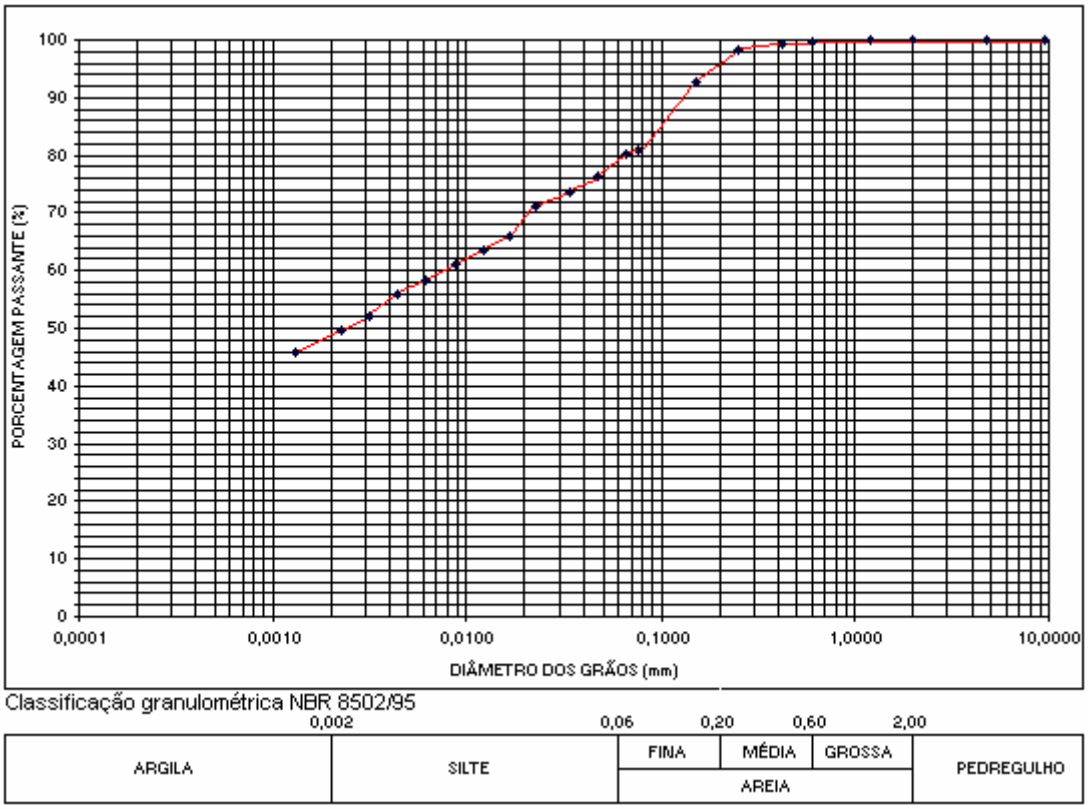


Figura 4.1 - Classificação granulométrica da argila

4.1.1 Difração de Raios-X (DRX)

A análise quantitativa dos minerais presentes livres dos óxidos de ferro e alumínio foi determinada após o tratamento com citrato-ditionito-bicarbonato de sódio (DCB).

Na Figura 4.2, é representada as difratogramas de raios-X da fração argila antes da queima, orientada após tratamento com DCB, identificam-se os seguintes mineriais: a Cau: caulinita; EHE: esmectita com hidróxido de alumínio entrecamadas; QZ: quartzo e Ili: ilita. Minerais que estavam presentes na amostra da fração argila antes da queima.

Verifica-se que nas amostras saturadas com potássio a 350°C e 550°C, a caulinita está ausente, podendo ter ocorrido transformações na sua estrutura cristalina, mantendo os demais minerais.

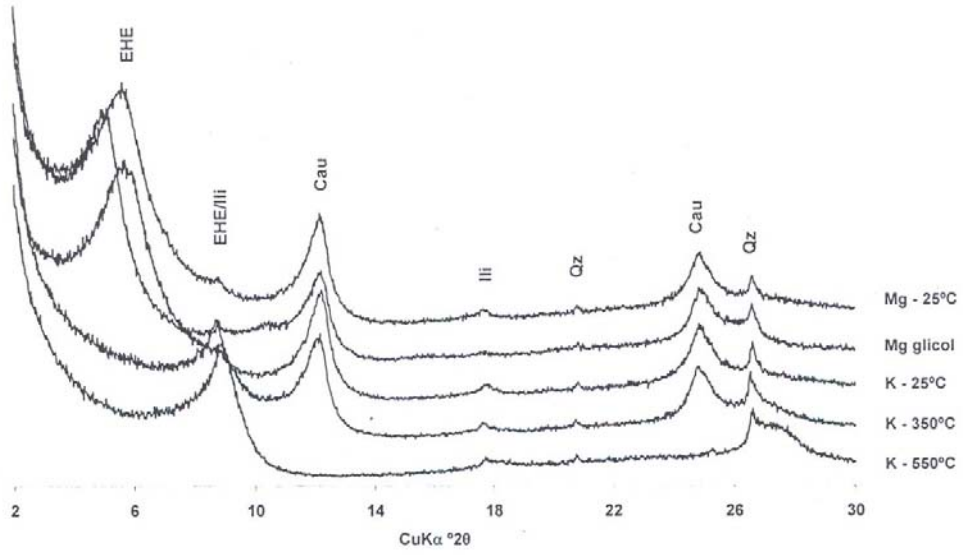


Figura 4.2 – Difratogramas de raios-X da fração argila.

A amostra de argila analisada apresentou 427 g /Kg de caulinita conforme laudo (anexo 3), caracterizando existência de propriedades fundamentais de plasticidade que permitem facilidade na moldagem dos blocos, durante a extrusão da massa argilosa.

Na figura 4.3, o difratograma de raios-X da argila queimada em forno, após tratamento com DCB, verifica-se ausência da caulinita, apresentando picos que indicam presença de quartzo em todos os tratamentos de saturação aplicada na amostra.

Segundo Santos e Kiyohara (2006), a caulinita sofre transformações pseudomórficas, a partir de 500 ^{o}C, passando à metacaulinita, formada pela desidroxilação de alguns cristais.

A decomposição térmica da caulinita estudada por Sanz (1988) mostrou que a desidroxilação térmica finalizou a 750 ^{o}C, ocorrendo a separação parcial de folhas tetraédricas de SiO_2 à 850 ^{o}C; e que à 980 ^{o}C houve segregação de SiO_2(NC), cristalização de espinélio com estrutura de alumina-gama e formação de núcleos da mulita.

Para a amostra de argila analisada, essa transformação cristalina da caulinita, muito provavelmente aumentou a refratariedade da estrutura do bloco cerâmico após a queima em forno de indústria cerâmica. A formação de materiais refratários durante a queima de blocos cerâmicos constituiu a esses materiais, propriedades térmicas e outras mais específicas como resistência à corrosão, abrasão e choque térmico.

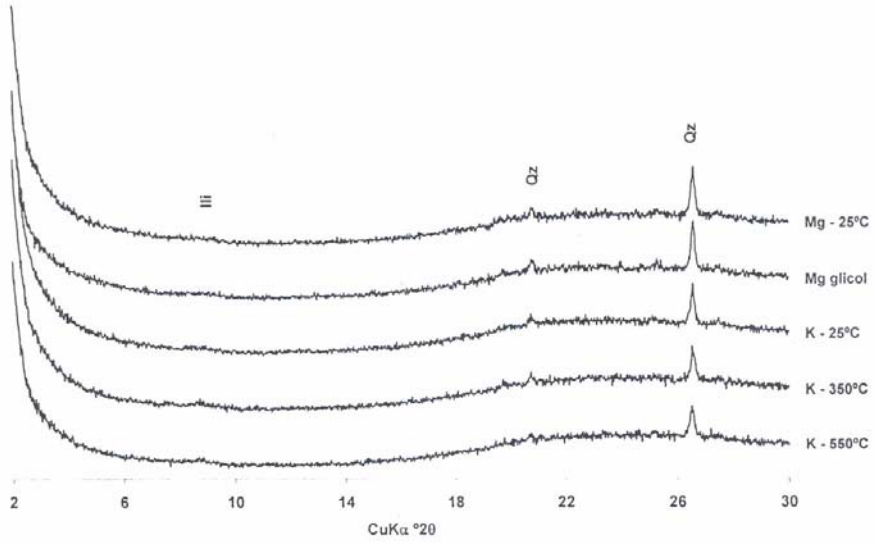


Figura 4.3 – Difratogramas de raios-X da fração argila após queima em forno a 900 ^{o}C.

4.1.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

As curvas de análise termogravimétrica, referentes às argilas e ao resíduo têxtil, bem como sua mistura a 15% de resíduo têxtil, são apresentadas na Figura 3.4.

Com massa inicial de 6,8 mg, a argila apresentou redução logo no início do aquecimento até aproximadamente à temperatura de 110 ^{o}C, (Figura 4.4), referente à perda de água de umidade; manteve-se estável até 400 ^{o}C, ocorrendo a eliminação da água coloidal das partículas de argila, reduzindo sua massa de forma acentuada até a temperatura de 500 ^{o}C. Esta fase corresponde à combustão da matéria orgânica e a perda de água por desidroxilação, bem característico de argilominerais caulinita, mantendo-se a massa estável em 6,3 mg, até a temperatura de 1000 ^{o}C, reduzindo então, sua massa total em 8%.

O lodo com massa inicial de 6,8 mg, apresentou redução mais acentuada em relação à argila, perdendo massa desde o início do aquecimento até 110 ^{o}C, provavelmente, com perda de água superficial das partículas de resíduo, reduzindo de forma acentuada até 270 ^{o}C, ocorrendo nesta fase, provavelmente, perda de água higroscópica das partículas de resíduo, reduzindo a massa de forma muito acentuada até 650 ^{o}C, havendo, provavelmente, combustão e volatilização da matéria orgânica. Em seguida manteve-se estável em 4,2 mg até a temperatura de 1000 ^{o}C, com redução da massa total em 62%.

A massa de argila incorporada com 15% de lodo apresentou redução total de massa de 13%.

Estes resultados mostram que a incorporação do resíduo à argila não levou à uma perda de massa significativa, evidenciando a formação de uma massa estável.

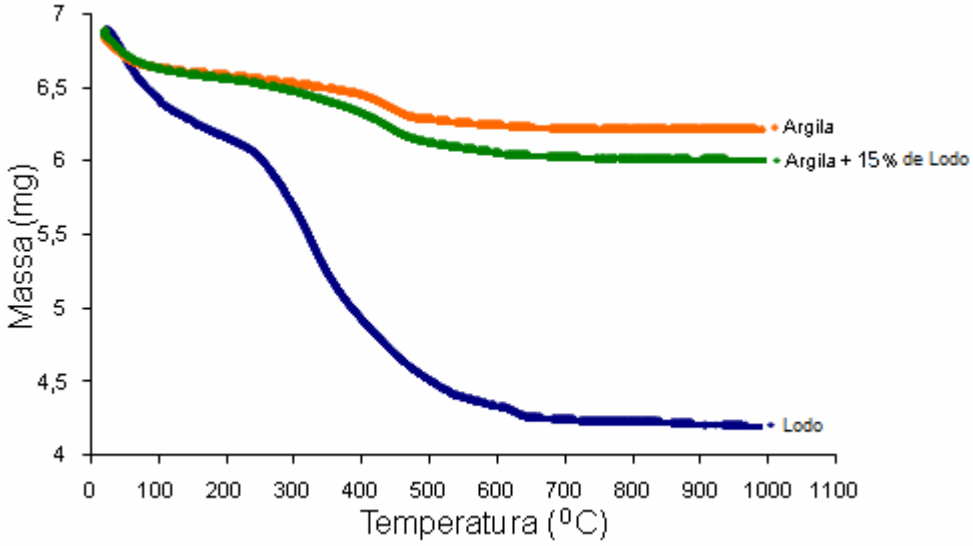


Figura 4.4 – Perda de massa obtida pela análise termogravimétrica.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Os resultados dos ensaios de caracterização do lodo encontram-se nas Tabelas 4.4 a 4.6.

Tabela 4.4 - Características do lodo misto

Parâmetros	Lodo Misto
Aspecto	Pastoso
pH	7,8
Densidade (g/cm^3)	1,95
Matéria Orgânica Total (%)	41,0

Umidade (%)	21,5
Metais	**(mg/Kg)**
Alumínio	62.966,7
Chumbo	174,7
Cobre	287,5
Cromo	195,0
Ferro	35.172,4
Manganês	1.106,1
Sódio	33.275,3
Zinco	294,4
Prata	n.d
Bário	n.d

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

Observa-se grande quantidade de alumínio e ferro (Tabela 4.4), muito provavelmente proveniente dos floculantes utilizados durante o processo de tratamento do efluente industrial, e de sódio proveniente, muito provavelmente, do agente antifungo e do eletrólito utilizado no tingimento, durante o processo de produção têxtil.

Tabela 4.5 - Características tóxicas do lodo misto (procedimentos de lixiviação - NBR 10005/2004)

METAIS	Concentração (mg/L)	Lim. Máx. (mg/L) NBR 10004/2004 (Anexo F)
Arsênio	n.d	1,0
Bário	n.d	70,0
Cádmio	n.d	0,5
Chumbo	n.d	1,0
Cromo	n.d	5,0
Mercúrio	n.d	0,1
Prata	n.d	5,0
Selênio	n.d	5,0

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

No extrato lixiviado do lodo misto, não foi detectada presença dos elementos químicos relacionados no anexo F, da norma NBR 10004/2004: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio, prata e selênio, o que leva a classificá-lo como não perigoso, classe II, de acordo com a norma NBR 10004/2004.

Tabela 4.6 - Características tóxicas do lodo misto (procedimentos de solubilização - NBR 10006/2004)

METAIS	Concentração (mg/L)	Lim. Máx. (mg/L) NBR 10004/2004 (Anexo G)
Arsênio	n.d	0,01
Bário	n.d	0,7
Cádmio	n.d	0,005
Chumbo	0,07	0,01
Cromo	0,05	0,05
Mercúrio	n.d	0,001
Prata	n.d	0,05
Selenio	n.d	0,01
Alumínio	0,3	0,2
Cobre	n.d	2,0
Ferro	n.d	0,3
Zinco	0,06	5,0
Manganês	4,2	0,1
Sódio	285,3	200,0

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

No extrato solubilizado do mesmo lodo, os elementos químicos: alumínio, chumbo, manganês e sódio, apresentaram valores levemente acima daqueles estabelecidos na norma NBR 10004/2004, determinando sua classificação como não inerte.

O lodo em questão, analisado e classificado como classe II - A, não perigoso e não inerte, poderá ser destinado como material utilizável, havendo necessidade de tratamento adequado, como por exemplo, a técnica de solidificação/estabilização, possibilitando então o aproveitamento como matéria prima secundária, em quantidades pré-estabelecidas.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3.

4.3.1 Análise química dos Blocos Cerâmicos em Escala Reduzida

4.3.1.1 Lixiviação e Solubilização

Os procedimentos para o ensaio das amostras dos blocos cerâmicos, produzidos com todas as formulações, foram semelhantes àqueles realizados com o lodo e argila.

As Tabelas 4.7 e 4.8 referem-se às análises dos extratos lixiviados e solubilizados, segundo a NBR 10005/2004 e NBR 10006/2004, respectivamente, dos blocos cerâmicos, preparados com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de lodo, e blocos controle, somente com argila.

Tabela 4.7 - Concentração de metais do extrato lixiviado dos blocos cerâmicos

METAIS	**Controle (mg/L)**	**5% (mg/L)**	**10% (mg/L)**	**15% (mg/L)**	**20% (mg/L)**	**25% (mg/L)**	**NBR 10004/2004 Lim.Máx. (mg/L)** (anexo F)
Arsênio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	1,0
Bário	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	70,0
Cádmio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,5
Chumbo	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	1,0
Cromo	n.d	n.d	0,01	0,02	0,02	0,02	5,0
Mercúrio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,1
Prata	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	5,0
Selênio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	1,0

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

Tabela 4.8 - Concentração de metais do extrato solubilizado dos blocos cerâmicos.

METAIS	**Controle (mg/L)**	**5% (mg/L)**	**10% (mg/L)**	**15% (mg/L)**	**20% (mg/L)**	**25% (mg/L)**	**NBR 10004/2004 Lim.Máx. (mg/L)** (anexo G)
Alumínio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,2
Arsênio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,01

Bário	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,7
Cádmio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,005
Chumbo	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,01
Cobre	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	2,0
Cromo	n.d	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05
Ferro	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,3
Manganês	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,1
Mercúrio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,001
Prata	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,05
Sódio	1,9	4,5	6,6	6,9	7,8	45,1	200,0
Zinco	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	5,0
Selênio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,01

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

Esses resultados indicam que as concentrações dos metais nos extratos lixiviados e solubilizados, dos blocos cerâmicos produzidos, com todas as proporções de lodo, estão abaixo dos limites definidos pela NBR 10004/2004 da ABNT – Resíduos Sólidos.

Assim, os resíduos dos blocos cerâmicos poderão ser classificados como: não perigosos e inertes ou Classe II – B**.**

Os blocos cerâmicos incorporados com as proporções de 5, 10, 15, 20 e 25% de lodo, após a queima adequada, poderão ser utilizados como materiais inertes, não oferecendo perigo durante a sua utilização, bem como, quando de sua disposição, na forma de resíduo.

4.3.2 Análise Física dos Blocos Cerâmicos em Escala Reduzida 1:3

4.3.2.1 Índice de Absorção de Água

O objetivo deste ensaio foi verificar a porcentagem de água absorvida no período de 24 horas à temperatura ambiente, e está diretamente relacionado com o índice de vazios da massa estrutural do bloco cerâmico, isto é, quanto mais água for absorvida, mais porosidade deve existir na massa. Na Tabela 4.9 são apresentados os valores médios obtidos no ensaio de absorção de água.

Tabela 4.9 - Absorção de água nos blocos cerâmicos de escala reduzida

Identificação	Controle	5% lodo	10% lodo	15% lodo	20% lodo	25% lodo
Absorção de água (%)	12,37	14,01	15,60	17,26	20,71	23,16
Variância	0,03	0,44	0,65	0,08	0,79	0,50
Desvio Padrão	0,18	0,66	0,81	0,29	0,89	0,70

* De acordo com a NBR 15270-3/2005, o índice de absorção de água deverá estar entre 8 e 22%.

Observa-se que as amostras de blocos cerâmicos incorporados com até 20% de lodo na argila, apresentaram índices de absorção de água dentro dos limites recomendados pela norma. Os blocos cerâmicos contendo 25% de lodo apresentaram resultados acima daquele limite de absorção de água máxima estabelecido pela norma.

De acordo com o INMETRO (2006), paredes construídas com esses blocos cerâmicos, podem sofrer aumento de carga quando expostas à chuva, podendo acarretar problemas estruturais à construção. Esse problema fica mais evidente em casas populares que, devido à condição econômica precária de seus moradores, permanecem "cruas", ou seja, sem qualquer revestimento que proteja suas paredes.

Além disso, paredes de blocos cerâmicos de vedação com alta absorção de água apresentam problemas na aderência da argamassa de reboco, pois a água existente na composição da argamassa é absorvida, resultando em uma massa seca sem poder de fixação.

Na Figura 4.5, apresenta-se a evolução do processo de absorção de água, obtida em blocos cerâmicos em escala 1:3. Observa-se que o aumento do teor de lodo aumentou a absorção de água, chegando-se a um limite de 20% de lodo, sem que se ultrapassasse o limite estabelecido na norma da ABNT. No entanto, o valor da absorção de água para esse teor de lodo na massa cerâmica ficou muito próximo do limite máximo estabelecido.

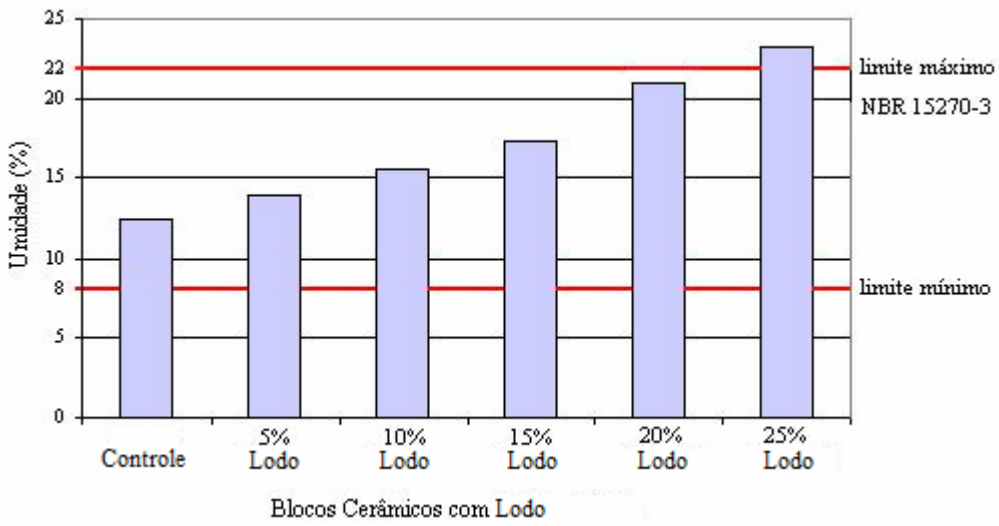


Figura 4.5 - Absorção de água de amostras de blocos em escala reduzida

4.3.2.2 Retração Linear pela perda de água

Na prática, uma vez que as camadas exteriores do bloco secam mais rapidamente que as camadas interiores, essas regiões contraem-se primeiro, produzindo uma redução nas dimensões do corpo e conseqüentemente no seu volume. Esta redução no volume do corpo representa, em alguns casos, exatamente a perda de água evaporada do mesmo, mas fatores como, o tipo de argila e sua granulometria, influenciam no processo de retração.

Segundo o fabricante cerâmico, quanto mais argila e menos areia, maior é a retração. De certa forma isso é pertinente, considerando que as áreas superficiais das partículas de argila são bem maiores, envolvendo maior volume de água, e em conseqüência da perda desse volume, há certa retração na massa. Por outro lado, a areia em excesso pode provocar a redução da plasticidade, coesão e retração da massa umidificada, reduzindo também a resistência mecânica nos blocos cerâmicos após a queima.

Neste sentido, foram feitas análises de retração linear nos blocos cerâmicos incorporados com lodo, produzidos em escala reduzida, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.10. Verifica-se que a retração se mantém constante, em todas as formulações adotadas. As retrações no comprimento dos blocos foram menores em relação à largura e altura, e estes apresentaram valores equivalentes.

Esses resultados evidenciam que os resíduos têxteis incorporados na massa cerâmica não influenciaram na retração dos blocos cerâmicos.

Tabela 4.10 - Retração em porcentagem nas amostras de blocos cerâmicos em escala reduzida

DESCRIÇÃO	Controle	5%	10%	15%	20%	25%	Média	Variância	Desvio Padrão
COMPRIMENTO (C)	10,9	11,1	10,0	10,1	10,8	10,9	**10,7**	0,18	0,42
LARGURA (L)	14,6	15,6	13,1	14,6	14,9	16,4	**14,9**	1,03	1,01
ALTURA (H)	14,5	15,2	14,0	14,2	14,7	15,6	**14,7**	0,31	0,55

A retração obtida no ensaio representa a média, geralmente encontrada na prática de industrialização de cerâmica vermelha desenvolvida nas indústrias. A retração ocorre nos blocos durante a fase de secagem e queima. Certamente a presença de 18% de areia fina e 2% de areia média na massa de argila, influenciou nesse processo, não ocorrendo fissuras que geralmente comprometem a qualidade dos produtos.

4.3.2.3 Características Geométricas em Blocos Cerâmicos em Escala Reduzida, 1:3.

A variação dimensional nos blocos cerâmicos em escala reduzida, é a diferença entre os valores das dimensões de fabricação efetiva, obtida de medições individuais. Valores médios de comprimento (C), largura (L) e altura (H), obtidos nas amostras ensaiadas, ficaram acima dos prescritos pela norma, este fato não é tão grave, uma vez que se trata de amostras para ensaios laboratoriais, no entanto, para blocos em escala real com finalidade comercial, é necessário que os valores estabelecidos na norma NBR 15270-3/2005 sejam obedecidos.

Nas amostras ensaiadas não foram detectadas medidas irregulares, quanto aos desvios de esquadro e planeza das faces.

Os limites relacionados na Tabela 4.11, estão com valores reduzidos em 1/3, dos valores especificados na norma da ABNT NBR 15270-3/2005, por conta das dimensões dos blocos produzidos em escala reduzida.

Verifica-se que a espessura das paredes e septos encontra-se acima dos valores mínimos exigidos, podendo esse fato, ter influenciado no aumento da resistência à compressão.

Tabela 4.11 - Dimensões dos blocos cerâmicos em escala reduzida 1:3

Características Blocos cerâmicos	**Limites**	**Controle**	**5% lodo**	**10% lodo**	**15% lodo**	**20% lodo**	**25% lodo**
Comprimento (mm)	63,3 ± 1,0	68,5	68,4	69,1	69,0	68,6	68,5
Largura (mm)	30,0 ± 1,0	32,3	32,0	32,7	32,4	32,2	31,8
Altura (mm)	46,7 ± 1,0	49,7	49,5	50,0	49,9	49,7	49,3
Espessura das paredes (mm)	>2,3	3,1	3,0	3,0	2,8	2,9	2,7
Espessura dos septos (mm)	>2,3	2,8	2,8	2,7	2,6	2,6	2,4
Desvio de esquadro (mm)	±1,0	0	0	0	0	0	0
Planeza das faces (mm)	±1,0	0	0	0	0	0	0

4.3.2.4 Análise de superfície – MEV

Na Figura 4.6 são apresentados os resultados da microscopia eletrônica de varredura (MEV), realizada nos blocos controle, e blocos fabricados com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de lodo na matriz de argila.

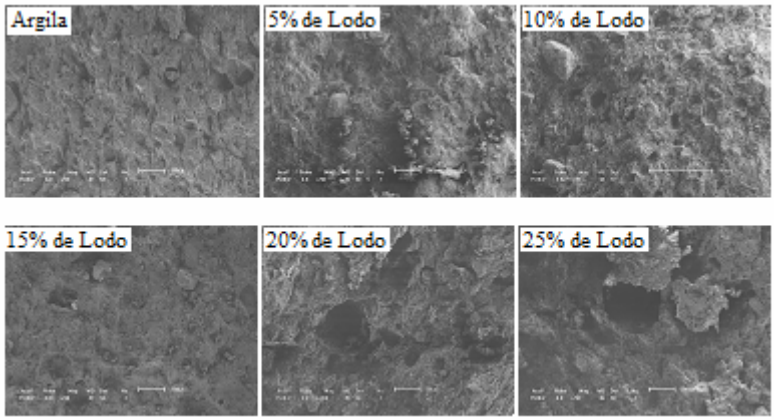


Figura 4.6 - Imagens obtidas pela MEV em estruturas de blocos cerâmicos com lodo.

Verificam-se diferentes estruturas formadas nas amostras de blocos cerâmicos produzidos com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de lodo. A estrutura da massa cerâmica apresentou maior porosidade, à medida que se acrescentou o resíduo têxtil.

Observam-se diferenças nas dimensões e quantidades de poros formados na amostra de bloco produzidos somente com argila, em comparação com aqueles fabricados com lodo. A tendência do surgimento de mais vazios, muito provavelmente, se deve à volatilização

da matéria orgânica durante a queima à medida que se acrescentou mais lodo na composição da massa cerâmica.

4.3.3 Análise de Resistência Mecânica em Blocos na Escala Reduzida 1:3

Blocos cerâmicos de vedação são aqueles destinados à execução de paredes que suportarão o peso próprio, além de pequenas cargas de ocupação (armários, pias, lavatórios) e geralmente são utilizados com os furos na posição horizontal para o seu assentamento.

Nesse ensaio verificou-se a capacidade de carga, que os blocos cerâmicos de todas as formulações suportavam, quando submetidos à forças exercidas perpendicularmente sobre suas faces opostas, determinando se as amostras ofereciam resistência mecânica adequada, simulando a pressão exercida pelo peso da construção sobre os blocos.

Para os ensaios das amostras, foram obedecidos os procedimentos descritos na norma NBR 15270-3/2005. As amostras de blocos cerâmicos de vedação devem atender ao requisito mínimo de 1,5 MPa, de acordo com a norma. O não atendimento aos parâmetros normativos mínimos indica que a parede poderá apresentar problemas estruturais, como rachaduras e, conseqüentemente, oferecerá riscos de desabamento da construção.

Na Tabela 4.12 estão apresentados os resultados da resistência à compressão dos blocos cerâmicos.

Tabela 4.12 - Resistências à compressão nos blocos de vedação em escala reduzida 1:3 (valores médios)

Identificação	Controle	5% lodo	10% lodo	15% lodo	20% lodo	25% lodo
Resisist. à compressão(MPa)	**3,6**	**4,4**	**3,8**	**3,7**	**2,9**	**2,4**
Variância	0,5	0,6	0,3	0,4	0,2	0,2
Desvio padrão	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5

Nas proporções de 5%, 10% e 15% de lodo, os valores de resistência foram superiores àqueles dos blocos controle, produzidos apenas com argila.

A adição de 5% de lodo à massa cerâmica levou a um aumento de resistência, superando em 22% a resistência do bloco controle. Amostras de blocos com 25% de lodo foram menos resistentes, cerca de 50% menos resistentes, em relação aos blocos controle.

De maneira geral, verificou-se que a resistência mecânica dos blocos cerâmicos produzidos, para os teores estipulados de incorporação de lodo, atendeu aos limites mínimos especificados na norma.

Para uma melhor visualização do efeito da incorporação de lodo à massa cerâmica, a Figura 4.7 apresenta a evolução da resistência mecânica dos blocos cerâmicos, em função do teor de lodo incorporado à mesma.

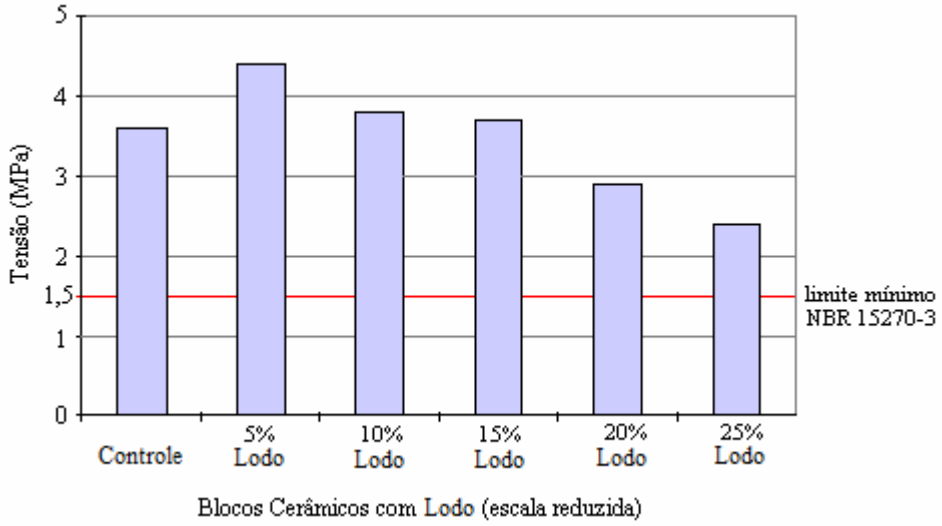


Figura 4.7 - Resistência à compressão em blocos de escala reduzida 1:3.

Neste sentido, decidiu-se para a produção de blocos cerâmicos em escala real, a incorporação de 15% de lodo à massa cerâmica, como garantia de melhor qualidade, uma vez que alguns ensaios apresentaram valores muito próximos aos limites das normas, em proporções acima de 15%.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REAL.

4.4.1 Análise química dos Blocos Cerâmicos em Escala Real

4.4.1.1 Lixiviação e Solubilização

A massa de argila, as formulações e o processo de mistura foram os mesmos realizados com o modelo reduzido. Os resultados das análises de metais realizadas no extrato

lixiviado dos blocos cerâmicos em escala real, não foram muito diferentes daqueles resultados obtidos com os blocos de escala reduzida.

Por não ter apresentado traços de metais relacionados no anexo "F" da NBR 10004/2004, Tabela 4.13, as amostras de bloco de controle e dos blocos com 15% de lodo podem ser classificadas como não perigosas.

Tabela 4.13 - Concentração de metais do extrato lixiviado dos blocos cerâmicos

METAIS	Controle (mg/L)	15% de Lodo (mg/L)	NBR 10004/2004 Lim.Máx. (mg/L) (anexo F)
Arsênio	n.d	n.d	1,0
Bário	n.d	n.d	70,0
Cádmio	n.d	n.d	0,5
Chumbo	n.d	n.d	1,0
Cromo	n.d	n.d	5,0
Mercúrio	n.d	n.d	0,1

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

O mesmo ocorreu em relação aos testes de solubilização. Os extratos solubilizados das amostras de blocos de escala real apresentaram traços apenas de sódio, porém, muito aquém do limite estabelecido pelo anexo G da NBR 10004/2004, Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Concentração de metais do extrato solubilizado dos blocos cerâmicos.

METAIS	Controle (mg/L)	15% de Lodo (mg/L)	NBR 10004/2004 Lim.Máx. (mg/L) (anexo G)
Alumínio	n.d	n.d	0,2
Arsênio	n.d	n.d	0,01
Bário	n.d	n.d	0,7
Cádmio	n.d	n.d	0,005
Chumbo	n.d	n.d	0,01
Cobre	n.d	n.d	2,0
Cromo	n.d	n.d	0,05
Ferro	n.d	n.d	0,3
Manganês	n.d	n.d	0,1
Mercúrio	n.d	n.d	0,001
Prata	n.d	n.d	0,05
Sódio	2,5	18,3	200,0
Zinco	n.d	n.d	5,0
Selênio	n.d	n.d	0,01

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

De acordo com a norma, os resultados apresentados para os blocos cerâmicos de vedação com incorporação de 15% de lodo na massa de argila, permitem classificá-los como classe II-A, ou seja, não perigoso e inerte.

4.4.1.2 Especiação Química nas amostras de bloco cerâmico em escala real com 15% de lodo (extração seqüencial).

Os resultados da extração seqüencial (Método de Tessier) realizada nos blocos cerâmicos, incorporados com 15% de lodo, queimados (Q) e não queimados (NQ), e a porcentagem de recuperação de cada metal, estão apresentados na Tabela 4.15.
Foi detectado, nos extratos de cada etapa traços dos seguintes metais: Mn, Fe, Cr, Pb, Zn, Cu, Al.

Tabela 4.15 – Extração seqüencial em amostras de blocos cerâmicos com 15% de lodo.

Metal	**Etapa**	**Não Queimado** mg/Kg	%	**% Recuperação do metal**	**Queimado** mg/Kg	%	**% Recuperação do metal**
Mn	1	110,1	12,3	92,7	60,7	6,6	81,7
	2	199,2	22,3		36,8	4,0	
	3	147,3	16,5		89,7	9,8	
	4	30,5	3,4		66,1	7,2	
	5	341,8	38,2		495,0	54,1	
Média $_{digestão}$ (mg/Kg)		895,2			914,4		
Fe	1	0,8	0,0	90,9	1,4	0,004	80,3
	2	108,0	0,3		43,5	0,1	
	3	1.594,9	5,0		429,2	1,2	
	4	98,2	0,3		30,2	0,1	
	5	27.179,3	85,3		28.023,0	78,9	
Média $_{digestão}$ (mg/Kg)		31.846,2			35.524,8		
Cr	1	5,8	6,5	93,4	5,9	5,7	82,4
	2	3,8	4,3		2,8	2,7	
	3	12,0	13,6		11,5	11,2	
	4	2,5	2,8		0,8	0,7	
	5	58,6	66,2		63,9	62,1	
Média $_{digestão}$ (mg/Kg))		88,5			102,8		
Pb	1	0,6	0,9	94,3	0,5	0,7	85,2
	2	1,4	2,1		3,8	4,9	
	3	7,3	10,8		24,0	31,1	
	4	0,5	0,7		3,3	4,2	
	5	54,2	79,8		34,2	44,3	
Média $_{digestão}$ (mg/Kg)		67,8			77,1		

Zn	1	4,7	2,6	97,3	0,5	0,2	88,2
	2	18,4	10,3		25,6	12,6	
	3	36,2	20,3		32,0	15,8	
	4	8,9	5,0		18,5	9,1	
	5	105,6	59,1		102,3	50,5	
Média $_{digestão}$ (mg/Kg))		178,9			202,4		
Cu	1	0,1	0,1	91,7	2,6	2,7	81,6
	2	5,2	6,3		18,8	19,5	
	3	5,7	7,0		9,2	9,5	
	4	-	-		2,1	2,2	
	5	64,2	78,3		46,1	47,7	
Média $_{digestão}$ (mg/Kg)		82,0			96,5		
Al	1	-	-	89,6	-	-	82,1
	2	1.283,2	1,9		65,6	0,1	
	3	2.959,8	4,4		2.785,2	3,7	
	4	1.223,6	1,8		271,7	0,4	
	5	54,834,4	81,5		58.457,4	78,0	
Média $_{digestão}$ (mg/Kg)		67.266,9			74.974,6		

Etapa 1 = fração 1= trocável
Etapa 2 = fração 2= carbonatos
Etapa 3 = fração 3= reduzível (ligada ao Fe e Mg)
Etapa 4 = fração 4= oxidável (ligada à matéria orgânica)
Etapa 5 = fração 5= residual

De maneira geral, a soma de todas as frações envolvidas no processo de extração seqüencial é razoavelmente similar ao conteúdo total obtido após a digestão das amostras originais com ácido fluorídrico e água régia.

Em ambas as amostras foram alcançadas porcentagens de recuperação entre 80 – 98%. Estes valores são similares aos mencionados na literatura, para o esquema de extração utilizado no presente trabalho, como aqueles relatados por Li *et al*. (2001); SUZUKI (2008); CAI *et al*. (2007).

De acordo com USERO *et al*. (1998) e HO (2000), o princípio dos métodos de extração seqüencial, no qual diversas soluções extratoras são aplicadas sucessivamente à mesma amostra, dissolvendo os componentes de sua matriz em ordem sequencial, pode ser explicada da seguinte maneira: idealmente, um reagente deve liberar todos os metais de um componente de uma matriz em particular, isto é, fração trocável, fração ligada a carbonatos etc., e não devendo influenciar os metais em outros componentes. No entanto, é normalmente reconhecido que o particionamento dos metais, obtido por esses procedimentos, é sempre, operacionalmente, definido como sendo afetado por muitos fatores experimentais, especialmente pela composição química da amostra.

As Figuras 4.8 e 4.9 referem-se às distribuições das frações metálicas para o bloco cerâmico incorporado com resíduo têxtil não queimado e queimado, respectivamente.

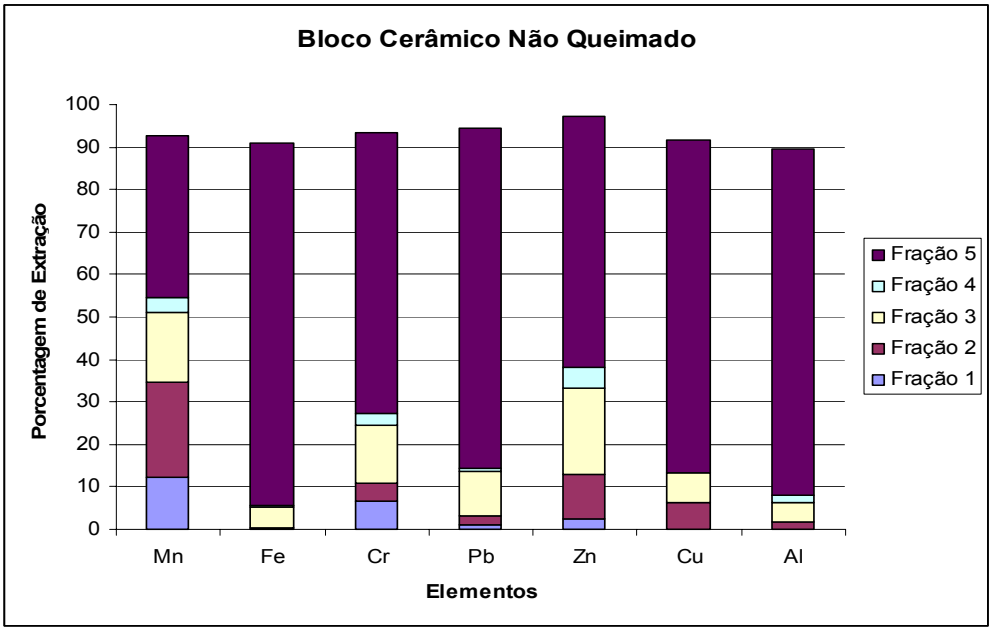


Figura 4.8 – Distribuição das frações metálicas no bloco não queimado.

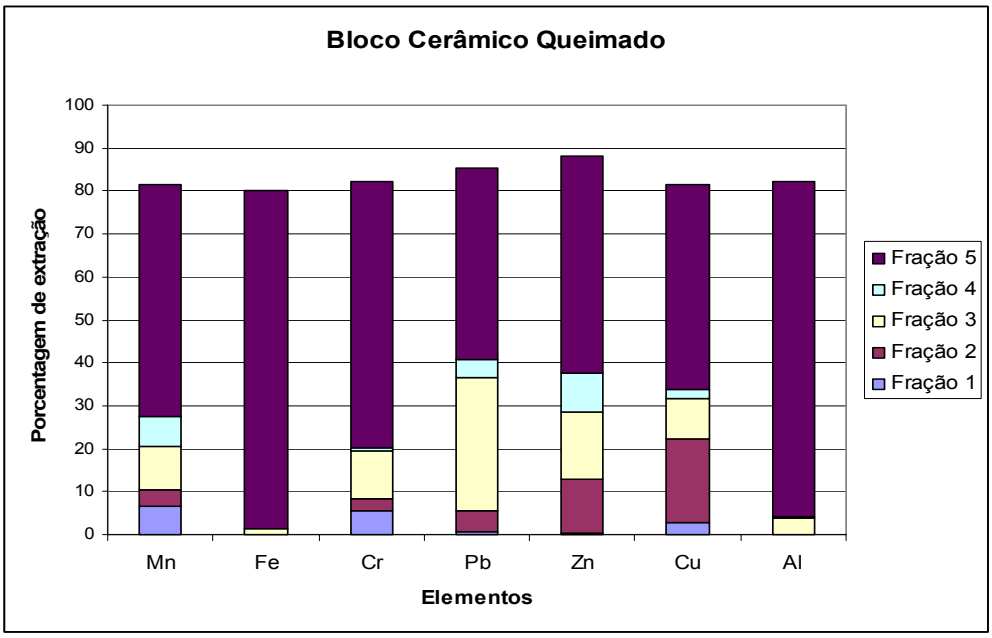


Figura 4.9 – Distribuição das frações metálicas no bloco queimado.

A Fração trocável constitui a Fração 1, correspondendo aos metais que são diretamente extraídos, visto que a solução extratora possui apenas poder de deslocamento.

A partir dos resultados obtidos, para o bloco cerâmico queimado, é possível observar que o cobre foi mais solubilizado nesta amostra. Isto pode ser explicado pelo fato de que, durante o processo de queima, os metais presentes nos blocos, podem ter se ligado a óxidos e, devido à diferença de raio iônico, os óxidos metálicos formados apresentem a capacidade de se solubilizarem mais. Para o caso do cobre, o raio iônico é 0,69 Å, enquanto que para o oxigênio, o raio iônico é de 1,40 Å. A situação oposta pode ter ocorrido com o chumbo, cujo raio iônico corresponde a 1,20 Å, ou seja, trata-se de uma ligação estável com o oxigênio, resultando na baixa solubilização do chumbo no bloco queimado.

A Fração ligada a carbonatos constitui a Fração 2. A solução extratora utilizada apresentava uma leve acidez, com capacidade de decompor o carbonato. No bloco cerâmico queimado houve uma inversão na solubilização do chumbo e do cobre, e uma pequena inversão, na solubilização do zinco. Isto pode ser devido aos óxidos neutros formados, que reagem com esses metais, resultando na maior solubilização dos mesmos no bloco cerâmico queimado, além disso, como a solução extratora utilizada no método é a mesma para ambas as amostras, pode ter ocorrido, nesta fase, solubilização dos metais que não foram dissolvidos nas etapas anteriores.

A Fração reduzível (ligada a óxidos de Fe/Mn), constitui a Fração 3. O chumbo e o cobre foram solubilizados em maior proporção no bloco cerâmico queimado, indicando que estes metais não entraram na fase residual durante o processo de Solidificação/Estabilização.

A Fração oxidável, ou ligada à matéria orgânica, constitui a Fração 4. Pode-se observar pela análise das Figuras 3.8 e 3.9, que o manganês, chumbo, zinco e cobre, solubilizaram em maior proporção na amostra de bloco cerâmico queimado. Isto pode ser explicado devido ao processo de queima do bloco cerâmico, responsável pela possível ligação desses metais com o oxigênio, cujo complexo formado é mais fraco. Além disso, a diferença de potencial de redução entre a solução extratora utilizada nesta etapa, peróxido de hidrogênio (H_2O_2), e o possível complexo formado com o oxigênio, pode explicar o fato ocorrido.

O potencial padrão de eletrodo (redução) para o peróxido de hidrogênio, bem como para os complexos desses metais, possivelmente formados com o oxigênio, são mostrado na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Complexos formados na reação do Peróxido de Hidrogênio com Oxigênio. Fonte: SKOOG, WEST e HOOLER – 1992

Reação			Eo, V^+
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons$	$2H_2O$	**+ 1,776**
$MnO_{2(s)} + 4H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons$	$Mn^{2+} + 2H_2O$	**+ 1,230**
$PbO_{2(s)} + 4H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons$	$Pb^{2+} + 2H_2O$	**+ 1,455**
$ZnO_2^{2-} + 4H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons$	$Zn_{(s)} + 2H_2O$	**+ 0,441**
$CuO + 2H^+ + e^-$	$\rightleftharpoons$	$Cu^+ + H_2O$	**+ 0,620**

A Fração 5 refere-se à fração residual. Com relação ao bloco cerâmico queimado (Q) verifica-se que todos os metais estão distribuídos na Fração 5, indicando que estes metais pesados ficaram presentes na fase residual durante o processo de Solidificação/Estabilização, ou seja, estes metais foram fixados nas estruturas de minerais primários e secundários do bloco cerâmico. Segundo Benatti (2005), os metais desta fração são quimicamente estáveis e biologicamente inativos.

Dessa forma, é possível observar que os metais contidos no lodo incorporado na massa cerâmica permanecerão imobilizados no material cerâmico, sem haver prejuízos ou riscos de futura contaminação do solo durante a sua vida útil, bem como quando o mesmo for disposto em aterros.

Assim, pode-se concluir que o processo de Solidificação/Estabilização (S/E), foi capaz de imobilizar de forma eficaz os metais nos blocos cerâmicos.

4.4.2 Características Físicas dos Blocos Cerâmicos em Escala Real

4.4.2.1 Absorção de Água

Na Tabela 4.17, estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água.

Tabela 4.17 - Absorção de água nos blocos cerâmicos de escala real - valores médios

Identificação	Controle	Argila + 15% de lodo
Massa seca (g)	1690,7	1635,6
Massa úmida (g)	1940,8	1899,7
Variância	0,6	0,2
Desvio padrão	0,8	0,5
Absorção de água (%)	**14,8**	**16,1**

Os blocos em escala real, tanto os blocos controle, quanto aqueles fabricados com o lodo apresentaram absorção de água dentro dos limites estabelecidos pela NBR 15270-3, que recomenda valores entre 8% e 22%. Nota-se que os valores de absorção de água são mais estáveis, isto é, mais próximos entre os blocos controle e os blocos com 15% de lodo.

Os resultados ligeiramente mais elevados para os blocos, fabricados com a incorporação de 15% de lodo na massa de argila, muito provavelmente, são decorrentes da porosidade causadas pela queima da matéria orgânica contida no lodo.

Os resultados mostram ainda, que não houve alterações significativas nos valores de absorção de água nos blocos produzidos em escala real, comparadas com os blocos na escala reduzida 1:3, na mesma formulação (Figura 4.10).

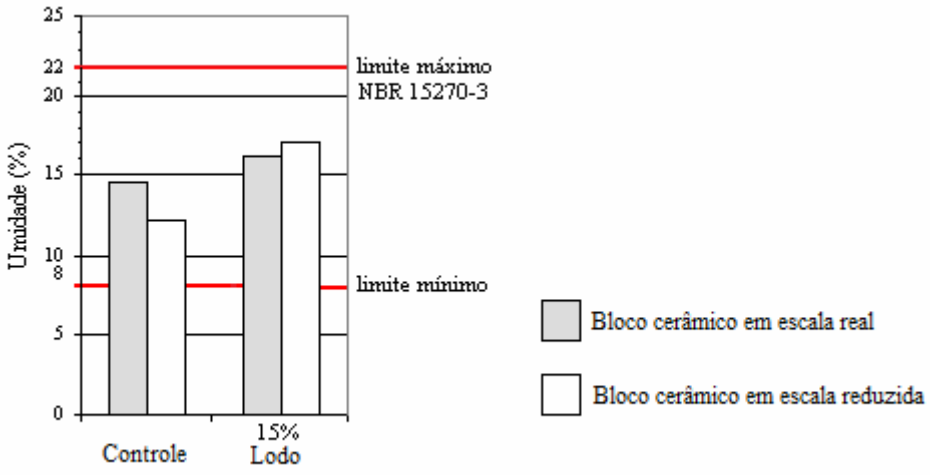


Figura 4.10 - Absorção de água em amostras de blocos cerâmicos

4.4.2.2 Retração linear pela perda de água.

As porcentagens de retração, verificadas nos blocos em escala real, foram menores em relação aos valores de retração nos blocos reduzidos. Os valores apresentados na Tabela 4.18 mostram a média da retração normalmente encontrada nas argilas para cerâmica vermelha.

Tabela 4.18 – Retração nas amostras de blocos cerâmicos na escala real

Descrição	Controle	15% Lodo	Retração Média (%)
Comprimento (C)	7,8	8,1	**7,9**
Largura (L)	8,6	8,9	**8.7**
Altura (H)	8,4	8,6	**8,5**

Segundo depoimento dos fabricantes cerâmicos da região de Maringá, a boquilha (peça de moldagem da extrusora para produção de blocos cerâmicos), geralmente é fabricada com solicitação do interessado, já com dimensões acrescidas, considerando a retração de 10 % nos blocos após a queima. Utilizando-se a boquilha com esse acréscimo nas dimensões, obtêm-se blocos cerâmicos dentro das conformidades dimensionais exigidas em norma.

4.4.2.3 Características Geométricas

Para a determinação das dimensões efetivas das amostras de blocos cerâmicos analisadas utilizou-se os critérios estabelecidos pela NBR 15270-3/2005. Os ensaios geométricos tiveram como objetivo principal verificar a homogeneidade da fabricação dos blocos cerâmicos. Foram realizados os seguintes ensaios de conformidade: Medidas das Faces; Desvio em relação ao esquadro (D); Planeza das faces ou Flecha (F) e Espessura dos septos e paredes externas.

Os resultados referentes às características geométricas dos blocos cerâmicos produzidos em escala real encontram-se na Tabela 4.19. Verifica-se que as médias das dimensões em geral estão dentro dos limites estabelecidas pela norma.

Espessuras de paredes e septos muito acima dos limites estabelecidos podem influenciar diretamente na resistência mecânica das amostras. No entanto, as espessuras encontradas nos blocos em escala real apresentaram-se bem próximas aos estabelecidos em norma.

Tabela 4.19 - Dimensões dos blocos cerâmicos em escala real

Identificação	Limites NBR 15270-3/2005	Controle	15% de lodo
Comprimento (mm)	190 ± 3	191	189
Largura (mm)	90 ± 3	90	89
Altura (mm)	140 ± 3	144	144
Espessura das paredes (mm)	>7	8	7
Espessura dos septos (mm)	>7	8	8
Desvio de esquadro (mm)	±3	3	2
Planeza das faces (mm)	±3	1	0

4.4.2.4 Difração de Raios-X

Na Tabela 4.20 é apresentada a quantificação dos minerais presentes na fração argila, argila queimada e argila queimada com incorporação de 15% de lodo, após concentração dos óxidos de ferro. Minerais quantificados por difratometria de raios-X, de acordo com a área relativa dos reflexos d_{012} da hematita (X 3,5); d_{110} da goethita e d_{220} da maghemita (X 3,5).

Tabela 4.20 – Minerais presentes na fração argila.

Identificação Amostra	Hematita ($g.kg^{-1}$)	Ghoethita ($g.kg^{-1}$)	Maghemita ($g.kg^{-1}$)
Argila	740	110	150
Argila queimada	720	100	180
Argila + 15% de lodo	720	110	170

Observa-se que o processo de queima não alterou o volume dos minerais presentes na fração argila, não alterando também na argila incorporada com 15% de lodo.

Isso evidencia que não houve significativas transformações nas estruturas dos minerais formados por óxidos de ferro, mesmo após o processo de queima.

Na Figura 4.11 são apresentados os difratogramas de raios-X, das amostras após dissolução seletiva dos minerais aluminossilicatados com NaOH 5 mol L^{-1} fervente, para concentração dos óxidos de ferro. Foram identificados os seguintes minerais nas amostras analisadas: Gt: goethita; Hm: hematita; Qz: quartzo; Ana: Anastásio; Rut: rutilo e Si: silício.

Observa-se a presença de quartzo, em quantidades superiores em amostras de argila incorporada com 15% de lodo. Muito provavelmente ocorreu o início do processo de vitrificação dos compostos contidos no lodo, dando maior rigidez estrutural. Isso evidencia a causa do aumento da resistência à compressão dos blocos cerâmicos incorporados com até 15% de lodo.

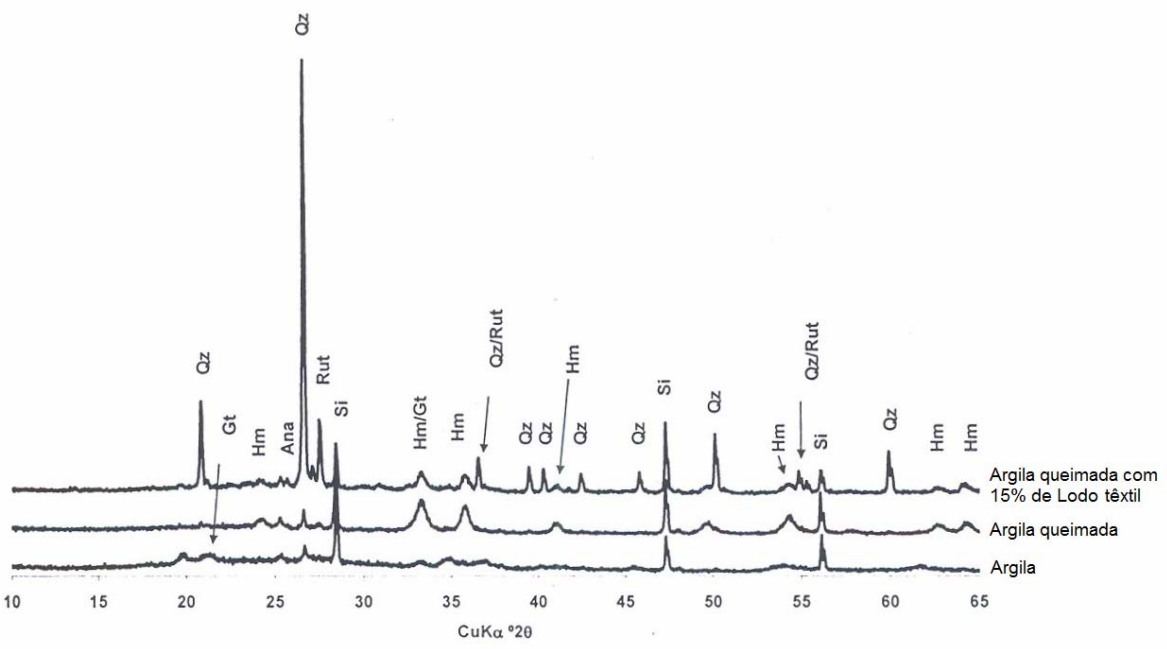


Figura 4.11 - Difratogramas de raios-X obtidos nas amostras de argila, argila queimada e argila com 15% de lodo.

4.4.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os resultados obtidos na MEV em amostras de blocos produzidos em escala real estão apresentados na Figura 4.12.

Aparentemente a amostra de bloco controle apresentou estrutura mais compacta com menos porosidade. A porosidade elevada nos blocos cerâmicos em escala real, acarretou um aumento nos valores de absorção de água, reduzindo a resistência do material cerâmico, em comparação com aqueles obtidos em blocos cerâmicos de escala reduzida 1:3.

Na amostra de bloco de escala real com 15% de lodo, pode-se observar aumento considerável de vazios, muito provavelmente resultado da volatilização da matéria orgânica constituinte do resíduo, ocorrido durante a queima. Deve-se ressaltar que 41 % do lodo eram de matéria orgânica, conforme valores descritos anteriormente na Tabela 4.4.

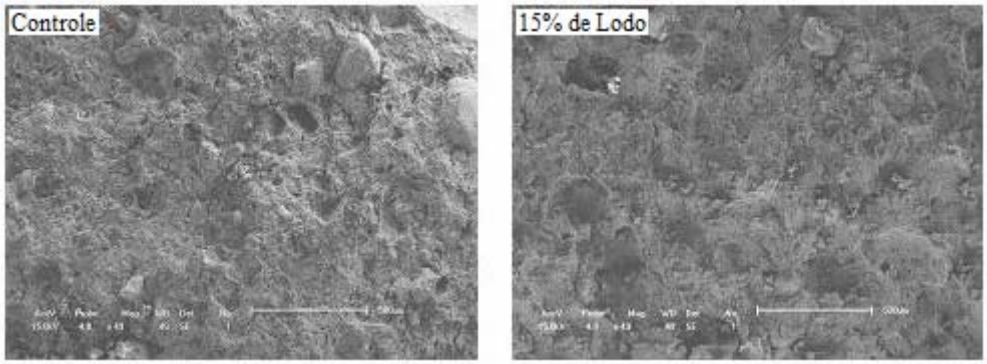


Figura 4.12 – Fotos obtidas com MEV em estruturas de bloco controle e bloco com 15 % de lodo após a queima (200 X).

4.4.3 Características Mecânicas dos Blocos Cerâmicos de Escala Real

4.4.3.1 Resistência à Compressão

Na Tabela 4.21 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão (valores médios), realizados em amostras de bloco controle e bloco com 15% de lodo. Os resultados dos ensaios das peças analisadas não dispersaram do valor médio, obtendo baixo valor no desvio padrão.

Os blocos incorporados com lodo são em média 5% mais resistentes, quando comparados aos blocos controle. Essa característica foi determinada anteriormente nos blocos em escala reduzida, verifica-se ainda, que estes valores estão acima do limite estabelecidos pela NBR 15270-3/2005, que é de 1,5 MPa, no mínimo.

Tabela 4.21 – Valores de resistência à compressão para blocos em escala real.

Identificação	Bloco controle	Bloco com 15% de lodo
Variância	0,10	0,14
Desvio Padrão	0,32	0,38
Resistência (MPa)	**2,19**	**2,30**

Na Figura 4.13 estão apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos blocos de escala real, bem como aqueles obtidos nos ensaios com blocos em escala reduzida.

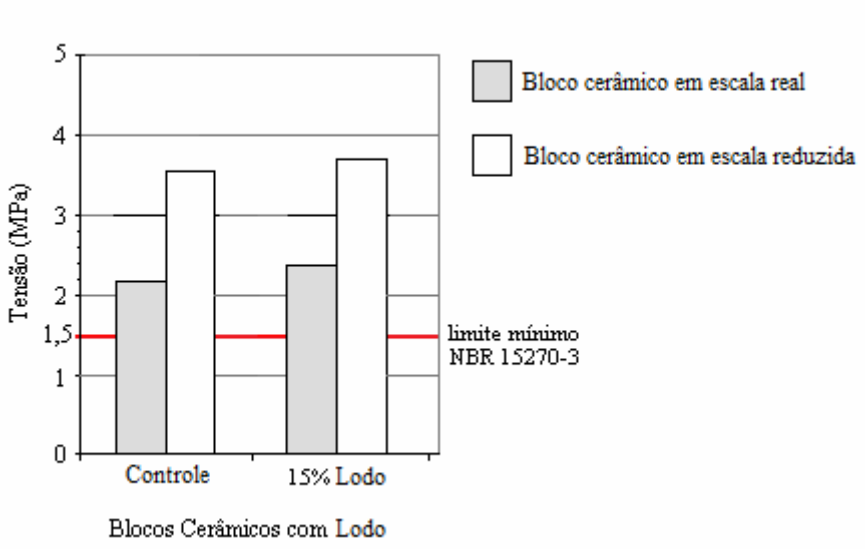


Figura 4.13 – Resistência à compressão em bloco cerâmico.

Verifica-se que os valores resistência, obtidos nos ensaios com os blocos em escala real, foram inferiores àqueles valores obtidos com blocos cerâmicos de escala reduzida. Acredita-se que esta diferença deva-se a uma questão estrutural, especificamente no que se refere às dimensões da parede e septos.

As paredes e septos das amostras de blocos produzidos em escala real apresentaram espessuras cerca de 14% acima do especificado na norma (ver Tabela 4.19), no entanto, no caso dos blocos em escala reduzida as espessuras das paredes e septos apresentaram-se cerca de 26% acima do mínimo exigido, ver Tabela 4.11, influenciando conseqüentemente, no aumento da resistência à compressão nos blocos de escala 1:3 em relação aos blocos de escala real.

É interessante observar que, a boquilha, é a peça da extrusora que define o formato da seção do bloco cerâmico, e suas dimensões são estabelecidas durante a sua fabricação, impossibilitando a regulagem da largura das paredes externas e septos.

4.4.3.2 Resistência de Aderência da Argamassa

Os revestimentos de camada única, aplicados sobre alvenaria de blocos, com e sem incorporação de lodo, apresentaram resultados de resistência de aderência à tração dentro dos limites estabelecido na norma, que é no mínimo de 0,30 MPa para revestimento externo, conforme pode ser verificado na Tabela 4.22.

Tabela 4.22 – Resultado do ensaio de aderência de argamassa nos blocos de vedação

Resistência de Aderência à Tração (MPa)				
Amostra	**Bloco controle (ponto1)**	**Bloco controle (ponto 3)**	**Bloco com 15% de lodo (ponto 2)**	**Bloco com 15% de lodo (ponto 4)**
1	0,35	0,31	0,00	0,34
2	0,20	0,21	0,29	0,36
3	0,23	0,15	0,43	0,06
4	0,31	0,34	0,42	0,58
5	0,34	0,48	0,28	0,40
6	0,35	0,33	0,61	0,29
Média	**0,30**	**0,30**	**0,34**	**0,34**
Variância	0,00	0,02	0,03	0,02
Desvio padrão	0,07	0,14	0,20	0,17

O rompimento das camadas analisadas ocorreu principalmente na interface alvenaria/argamassa. No entanto, os valores de resistências obtidos nos ensaios, mostram variações significativas, que podem ser oriundas do processo de aplicação manual da argamassa.

O processo manual de aplicação da argamassa na parede de alvenaria é um fator que pode comprometer a fixação da argamassa, podendo a aderência, variar com a intensidade do impulso com que é lançado pelo aplicador. A aplicação adequada com uniformidade em toda área da parede de alvenaria, proporciona maior aderência, pela migração de solução de cimento para o interior do bloco cerâmico através dos poros, formando a ponte de aderência substrato/argamassa.

Na parede onde o revestimento de argamassa encontrava-se aplicado sobre a estrutura de bloco incorporado com lodo, observou-se que os resultados de aderência foram ligeiramente maiores (em média 0,34 MPa), superando em 13%, em relação à parede onde

o revestimento encontrava-se aplicado sobre a estrutura de blocos controle (em média 0,30 MPa).

Muito provavelmente, essa melhora na aderência é conseqüência da maior porosidade encontrada nos blocos incorporados com 15% de lodo.

4.4.4 Análise Estatística e Balanço Material em Blocos Cerâmicos em Escala Real com 15% de lodo.

4.4.4.1 Avaliação da Volatilização dos Metais contidos nos Blocos Cerâmicos incorporados com Lodo.

A Tabela 4.23 apresenta os resultados da concentração de metais dos blocos cerâmicos incorporados com 15% de lodo, antes e após a queima em forno de indústria cerâmica.

Tabela 4.23 – Concentrações de metais totais dos blocos cerâmicos queimados (Q) e não queimados (NQ) incorporados com 15% de lodo.

Metal	Bloco Cerâmico 15% Lodo	Concentração (mg/Kg)
Mn	**Não queimado**	**894,2** **889,8** **901,7**
	Média (NQ**)**	895,2
	Queimado	**917,8** **909,6** **915,9**
	Média (Q**)**	914,4
Fe	**Não queimado**	**32588,5** **28219,4** **34730,4**
	Média (NQ**)**	31846,1
	Queimado	**36137,9** **34046,9** **36389,6**
	Média (Q**)**	35524,8
Cr	**Não queimado**	**89,1** **88,7** **87,7**
	Média (NQ**)**	88,5
	Queimado	**103,0** **103,3** **102,1**

	Média (Q)	102,8
Pb	**Não queimado**	**69,2** **67,7** **66,6**
	Média (NQ)	67,8
	Queimado	**77,5** **76,3** **77,6**
	Média (Q)	77,1
Zn	**Não queimado**	**181,8** **177,2** **177,6**
	Média (NQ)	178,6
	Queimado	**202,3** **201,4** **203,4**
	Média (Q)	202,4
Cu	**Não queimado**	**79,3** **84,4** **82,3**
	Média (NQ)	82,0
	Queimado	**96,9** **99,4** **93,4**
	Média (Q)	96,5
Al	**Não queimado**	**66.524,9** **68.145,9** **67.129,8**
	Média (NQ)	67.266,9
	Queimado	**74.037,5** **76.294,1** **74.592,2**
	Média (Q)	74.974,9
Na	**Não queimado**	**11.298,1** **11.139,7** **12.163,8**
	Média (NQ)	11.533,8
	Queimado	**15.596,5** **15.933,7** **16.426,9**
	Média (Q)	15.985,6

Com os resultados apresentados na Tabela, é possível deduzir que, devido à volatilização da matéria orgânica e umidade presentes no bloco durante a queima em forno de indústria cerâmica, os metais presentes nos blocos com lodo se apresentaram mais concentrados.

Antes da aplicação do teste de significância é necessário fazer a correção dos resultados da concentração de metais contida no bloco cerâmico queimado, incorporado com 15% de lodo, para massa úmida, que era o valor de massa inicial em que os metais estavam presentes. Dessa forma, a Tabela 4.24 apresenta as concentrações de metais dos blocos cerâmicos queimados corrigidos para a massa úmida.

Tabela 4.24 - Concentração corrigida de metais presentes nos blocos cerâmicos queimados, incorporados com 15% de lodo - Massa úmida.

Metal	Amostra	Concentração (mg/kg)	Concentração Corrigida (mg/kg)
Mn	**Q_1**	**917,8**	**762,2**
	Q_2	**909,6**	**755,5**
	Q_3	**916,0**	**760,8**
Fe	**Q_1**	**36137,9**	**30014,7**
	Q_2	**34046,9**	**28278,1**
	Q_3	**36389,6**	**30223,8**
Cr	**Q_1**	**103,0**	**85,5**
	Q_2	**103,3**	**85,8**
	Q_3	**102,1**	**84,8**
Pb	**Q_1**	**77,5**	**64,4**
	Q_2	**76,3**	**63,3**
	Q_3	**77,6**	**64,5**
Zn	**Q_1**	**202,3**	**168,0**
	Q_2	**201,4**	**167,3**
	Q_3	**203,4**	**168,9**
Cu	**Q_1**	**96,9**	**80,4**
	Q_2	**99,4**	**82,6**
	Q_3	**93,4**	**77,5**
Al	**Q_1**	**74.037,5**	**61.492,8**
	Q_2	**76.294,1**	**63.367,0**
	Q_3	**74.592,2**	**61.953,5**
Na	**Q_1**	**15.596,5**	**12.953,9**
	Q_2	**15.933,6**	**13.233,8**
	Q_3	**16.426,9**	**13.643,5**
Massa Média $_{\text{bloco queimado}}$ = 2.084,570 g			
Massa Média $_{\text{bloco não queimado}}$ = 2.509,830 g			

Assim, observa-se que os valores das concentrações de metais, corrigidos para massa úmida, correspondem à concentração de metais que estavam presentes nos blocos cerâmicos antes da queima em forno de indústria cerâmica.

O resultado do tratamento estatístico por meio do Teste de Significância, em dados amostrais corrigidos da concentração de metais dos blocos queimados e não queimados, é apresentado na Tabela 4.25.

Tabela 4.25 – Teste de significância para o conjunto de dados amostrais.

Metal	Amostra	Concentração (mg/kg)	$\bar{x}$	$\lvert\Delta\bar{x}\rvert$	LC	Situação
Mn	$Q_{1\ corrigido}$	762,2	759,5	135,7	168,8	Não Volatiliza.
	$Q_{2\ corrigido}$	755,5				
	$Q_{3\ corrigido}$	760,8				
	NQ_1	894,2	895,2			
	NQ_2	889,8				
	NQ_3	901,7				
Fe	$Q_{1\ corrigido}$	30014,7	29505,6	2340,6	5353,8	Não Volatiliza.
	$Q_{2\ corrigido}$	28278,1				
	$Q_{3\ corrigido}$	30223,8				
	NQ_1	32588,5	31846,1			
	NQ_2	28219,4				
	NQ_3	34730,4				
Cr	$Q_{1\ corrigido}$	85,5	85,4	3,1	4,1	Não Volatiliza.
	$Q_{2\ corrigido}$	85,8				
	$Q_{3\ corrigido}$	84,8				
	NQ_1	89,1	88,5			
	NQ_2	88,7				
	NQ_3	87,7				
Pb	$Q_{1\ corrigido}$	64,4	64,1	3,8	5,1	Não Volatiliza.
	$Q_{2\ corrigido}$	63,3				
	$Q_{3\ corrigido}$	64,5				
	NQ_1	69,2	67,8			
	NQ_2	67,7				
	NQ_3	66,6				
Zn	$Q_{1\ corrigido}$	168,0	168,1	10,8	13,9	Não Volatiliza.
	$Q_{2\ corrigido}$	167,3				
	$Q_{3\ corrigido}$	168,9				
	NQ_1	181,8	178,9			

	NQ_2	177,2				
	NQ_3	177,6				
Cu	$Q_{1\ corrigido}$	80,4	80,2	1,8	5,6	Não Volatiliza.
	$Q_{2\ corrigido}$	82,6				
	$Q_{3\ corrigido}$	77,5				
	NQ_1	79,3				
	NQ_2	84,4	82,0			
	NQ_3	82,3				
Al	$Q_{1\ corrigido}$	61.492,8	62.271,1	4.995,8	6.465,7	Não Volatiliza.
	$Q_{2\ corrigido}$	63.367,0				
	$Q_{3\ corrigido}$	61.953,5				
	NQ_1	66.524,9				
	NQ_2	68.145,9	67.266,9			
	NQ_3	67.129,8				
Na	$Q_{1\ corrigido}$	12.953,9	13.277,1	1.743,2	2.357,0	Não Volatiliza.
	$Q_{2\ corrigido}$	13.233,8				
	$Q_{3\ corrigido}$	13.643,5				
	NQ_1	11.298,1				
	NQ_2	11.139,7	11.533,8			
	NQ_3	12.163,8				

Por meio da análise estatística das concentrações de metais totais nos blocos cerâmicos, foi possível concluir que não houve volatilização desses elementos durante a produção industrial.

Com uma confiabilidade estabelecida em 95%, é possível observar que não houve volatilização dos metais após a etapa de queima dos blocos cerâmicos, visto que a situação de LC > $|\Delta\bar{x}|$, foi respeitada para todos os casos.

Estes resultados confirmam que o processo de Solidificação/Estabilização (S/E) imobilizou os metais nos blocos cerâmicos, isto é, tanto durante a queima, quanto durante os processos de lixiviação e solubilização, verificou-se que os metais permaneceram imobilizados na matriz de argila, eliminando, portanto, a possibilidade de contaminação ambiental.

5 CONCLUSÃO

As análises de caracterização dos lodos gerados nas atividades têxteis permitiram verificar, que os mesmos devem ser enquadrados na classe II – A, ou seja, não perigoso e não inerte o que leva à necessidade de processos de tratamento, ou reaproveitamento, ou ainda, de disposição em aterros industriais.

Os ensaios químicos de lixiviação e solubilização dos extratos dos blocos produzidos na escala 1:3, com misturas de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de lodo de lavanderia têxtil, comprovaram a estabilização dos metais - Alumínio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês Sódio e Zinco, constituintes do resíduo. Os resultados mostraram que todas as formulações são possíveis de serem utilizadas, uma vez que as concentrações de metais nos extratos lixiviados e solubilizados dos blocos cerâmicos, estavam abaixo dos limites definidos pela NBR 10004/2004 da ABNT – Resíduos Sólidos.

O lodo de lavanderias têxtil adicionado na proporção de 5%, 10 % e 15% na massa de argila alteraram as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos blocos cerâmicos produzidos em escala reduzida 1:3, conferindo maior resistência à compressão em relação aos blocos cerâmicos produzidos somente com argila. Observou-se redução da resistência à compressão a partir da adição de 20% de lodo.

Por meio da difração de raios-X em bloco incorporado com 15% de lodo, verificou-se que houve uma mudança estrutural na massa cerâmica durante a queima, com surgimento de cristais de quartzo, tornando o material mais rígido.

Os blocos cerâmicos fabricados nas proporções de 5, 10, 15, e 20% de lodo de lavanderia têxtil, apresentaram valores de absorção de água, dentro dos limites estabelecidos pela norma da ABNT. Por outro lado, os blocos fabricados com 25% de lodo, apresentaram valores fora dos limites.

Com relação à resistência à compressão, os blocos cerâmicos produzidos em todas as formulações, apresentaram valores acima do mínimo exigido pela norma.

A análise química comprovou que os metais encontrados na caracterização do lodo de lavanderia têxtil permaneceram fixados no material cerâmico, após a queima em alta temperatura no forno de olaria. Com isso, haverá uma possibilidade de uso desses blocos

na construção civil, sem riscos de contaminação durante o período de utilização, bem como em sua disposição final nos aterros na forma de entulhos.

Verificou-se que o tratamento do lodo de lavanderia têxtil pelo processo de solidificação/estabilização apresentou resultados tecnicamente viáveis. As características físicas, químicas e mecânicas, dos blocos produzidos em quase todas as formulações, apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos nas normas vigentes, no entanto, é interessante observar que a proporção máxima de 15% de lodo na massa de argila, levou à obtenção de um produto com maior garantia de qualidade técnica.

A adoção da formulação da massa cerâmica, com 15% de lodo de lavanderia têxtil, para fabricação de blocos cerâmicos, em escala industrial, garantiu uma maior segurança contra possíveis descontroles operacionais na mistura de resíduo e argila, durante a homogeneização para produção industrial.

Blocos incorporados com 15% de lodo de lavanderia têxtil apresentaram resistência de aderência de argamassa 13% superior aos blocos controle. Evidenciando que a porosidade superficial nos blocos incorporados com lodo influenciou no processo de fixação da argamassa.

Por meio de especiação química em amostra de bloco cerâmico contendo 15% de lodo de lavanderia têxtil, verificou-se que grande parte dos metais contidos na massa se encontram na fase residual, isto caracteriza que esses elementos são de difícil lixiviação e solubilização no ambiente.

Verificou-se por meio de balanço de massa e tratamento estatístico em blocos com 15% de lodo de lavanderia têxtil, que não houve volatilizacão dos metais, durante a queima em forno de indústria cerâmica.

O processo de Solidificação/Estabilização (S/E) mostrou-se eficiente na imobilização dos elementos químicos prejudiciais, contidos no lodo de lavanderia têxtil, sendo este, possível de ser utilizado em escala industrial na proporção de no máximo 15% junto a massa argilosa, para produção de bloco cerâmico de vedação com 6 furos na horizontal.

6 SUGESTÃO

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO JUNTO À ESTRUTURA EXISTENTE NA INDÚSTRIA CERÂMICA.

O lodo de lavanderia têxtil utilizado para a pesquisa era um composto misto de quatorze lodos, coletados em doze diferentes lavanderias têxteis. A formulação de 15% de lodo misto incorporado em 85% de argila foi a melhor proporção para a produção de blocos cerâmicos de vedação, sem comprometer a qualidade do produto, ao usuário e ao ambiente, conforme resultados obtidos, por meio de ensaios realizados em laboratório.

A utilização do lodo de lavanderia têxtil misto na indústria cerâmica requer uma pré-homogeneização antes da utilização, portanto, é necessário que haja uma caixa coletora com sistema de mistura dos lodos provenientes das indústrias, para que o produto seja homogeneizado, e, em seguida misturado à argila.

A homogeneidade da mistura do lodo de lavanderia têxtil e argila, também é um fator preponderante no processo de produção, portanto, a incorporação desse material na matriz argila, logo no início do sistema mecânico de fabricação, é importante, para haver uma perfeita mistura do lodo, à medida que for passando na etapa de refinamento da massa até chegar à extrusora, produzindo dessa forma, blocos com boa qualidade.

O processo de reaproveitamento do lodo, como incremento para produção de bloco cerâmico de vedação na indústria, não requer mudanças significativas no sistema de equipamentos já instalados, para a produção convencional.

A incorporação do resíduo na argila, poderá ser realizada na etapa inicial do sistema convencional, incluindo uma tremonha-dosadora de dimensão mais reduzida, para o lodo, adaptando-a próxima à tremonha de argila já existente, canalizando as derivações para a mistura dos dois materiais, resíduo e argila, seguindo para o laminador e extrusão, dando seqüência ao processo normal de produção.

A seguir é apresentado um fluxograma, com as sugestões de modificações que deveriam ser reajustadas, no sistema convencional de fabricação de blocos cerâmicos de vedação, para a implantação do processo de aproveitamento do lodo de lavanderia têxtil, utilizando o processo de solidificação/estabilização.

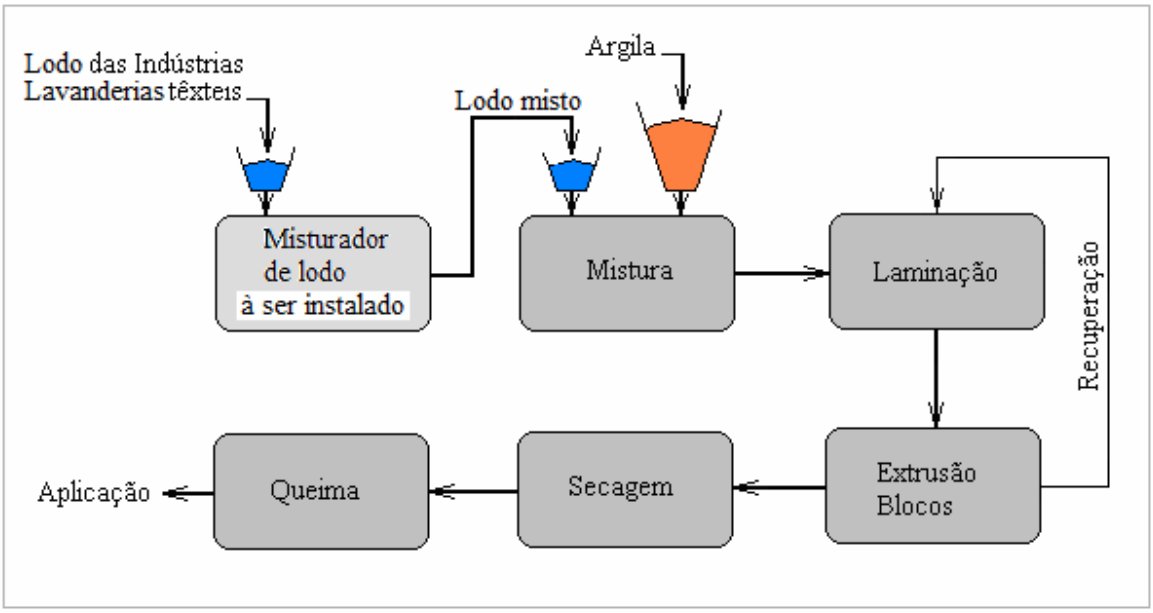


Figura 4.14 - Fluxograma de produção de blocos de vedação na indústria cerâmica

7 REFERÊNCIAS

ALVES, M.R.F.V. **Reciclagem de borra oleosa: uma contribuição para a gestão sustentável dos resíduos da indústria de petróleo em Sergipe**. Dissertação M. Sc, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, Sergipe, 2003.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica – Disponível em http://www.anicer.com.br/manuais/bloco.rtf . Acesso em Setembro de 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6508**: Massa específica dos grãos - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Análise granulométrica por peneiramento/sedimentação - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8502**: Classificação granulométrica de solos - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1995.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência de aderência à tração – Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, RJ, 1996.

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

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

AWWA-APHA, American Public Health Association, **Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater**, 19th ed.,AWWA, WPCF, Washington, D. C., 1995.

BARTH, E.F.; PERCIN, P. **Stabilization and Solidification of Hazardous Waste**. Polluition Technology Review, New Jersey, n. 186, 1990.

BENATTI, C. TELLES. Caracterização e tratamento de efluente de laboratório por processos químicos. Tese (Doutorado em Engenharia Química PEQ/UEM), Maringá, PR,2005.

BITENCOURT, M. P. **Reaproveitamento do lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia (tingimento e lavagem)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, área de Desenvolvimento de Processos, UEM, Maringá, PR, 2002.

BRAILE, P.M. e CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais.** Environmental Science & Tecnology, v.34, São Paulo, 1993.

BRITO, L.F. **Concepção e validação de protocolo para avaliar a estabilização por solidificação de resíduos**. Qualificação UFSC, Florianópolis, 2006.

CADÉ M.A., J.J.S. NASCIMENTO, A.G.B. DE LIMA. **Secagem de tijolos cerâmicos vazados: uma aproximação por volumes finitos**. Universidade Federal de Campina Grande – RN. Revista Matéria, v.10, n.2, pp 443 – 453, 2005.

CAI, Q.Y.; et al, **Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) – contaminated sewage sludge by different composting process**. ScienceDirect, Journal of Hazardous Materials n. 142, p. 535-542, 2007.

CAMPOS, L. F. A.; MACEDO, R. S.; KIYOHARA, P. K.; FERREIRA, H. C. **Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural.** Revista Cerâmica, São Paulo, v. 45, n. 295, 1999.

CANTER, L. W. **Manual de evaluación de impacto ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto.** 2. ed. Mc Graw Hill, Madrid, Espanha, 2000.

CETESB. **Resíduos Sólidos Industriais**. Trabalho elaborado pelo corpo técnico da CETESB,v.1. p. 32 - 43. São Paulo, SP, 1993.

D`ALMEIDA e VILHENA. **Disposição final de resíduos**. Disponível em http://www.eq.ufrj.br/graduacao/aulas/eqb481_denizedias/aterro.pdf . Acesso em Agosto de 2007.

DIAS, M.C. **Modernização e produtividade do trabalho nos principais segmentos da indústria têxtil brasileira**. RACRE – Revista de Administração, v.7, n.11, pp 60-68, São Paulo, 2007.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço nacional de levantamento e conservação de solos**. Manual de métodos de análise de solos. Ed.SNLCS, Rio de Janeiro, 1979.

EMBRI – European Network of Building Research Institutes. **Development of a framework for environmental of building materials and components**. (ENDRI Propposal to European Community BRITE EURAM Program). Mineo, 1994.

FACINCANI E. **Tecnologia cerâmica – Los ladrilhos**. Faenza Editrice Ibérica S.L. Editora, Barcelona, p. 263, 1993.

FAULT – Faculdade de Arquitetura Universidade Técnica de Lisboa. **Materiais cerâmicos**. Disponível em: www.fa.util.pt/materiais/cerâmicos/l/TIJOLOS/introducao.htm. Acesso em: junho de 2008.

GIFFONI, P. O.; LANGE, L. C. **A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos**. Revista Engenharia Sanitária e ambiental, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, 2005.

GOMES, C. F.,"**Argila: O que são e para que servem**", Fundação Calouste Gulbenkian, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Lisboa, Portugal, 1986.

GOMES, G. M. **Desenvolvimento sustentável no nordeste**. IPEA, Brasília, p.9-60, 1995.

HEREK, Luciana C.S. **Estudo da Solidificação/Estabilização de resíduos sólidos provenientes de lavanderia industrial em matrizes de argila**. Dissertação M. Sc. UEM, Maringá PR, 2005.

HO, M. D.; EVANS, G.J. **Sequential extraction of metal contaminated soils with radiochemical assessment of readsorption effects.** Environmental Science and Technology, n. 34, p. 1030, 2000.

HG Engenharia Ltda – **Projetos de Estações de Tratamento de Efluentes Têxteis** - Av. Colombo, 5790, bloco 14 I, Campus Universitário da UEM – Universidade Estadual de Maringá, Maringá < hgengenharia@incubadoramaringá.org.br >

HOEPERS, Robson – HG Engenharia Ltda, **Projetos de estações de tratamento de efluentes têxteis**, Maringá, PR, <hgengenharia@incubadoramaringá.org.br>.

IAP –Instituto Ambiental do Paraná – Av. Bento Munhoz Rocha Netto, 16, Fone (44) 3226.3665, Maringá – PR, 2008.

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Normatização. **Bloco cerâmico de alvenaria - Regulamento de avaliação de conformidade**. Portaria n. 013 de 25/01/2006.

JOHN, V.M. **Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos**. **in: workshop Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção**. ANTAC, anais, p.21-31, São Paulo, 1997.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. Tese de livre docência – Politécnica USP, São Paulo, 2000.

KIEHL. E.J. **Manual de Edafologia: Relação solo-planta.** Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 262p, 1979.

KOTAS, J., STASICKA, Z, **Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation**. Environmental Pollution, n. 107, p. 263-283, 2000.

KUNZ A., ZAMORRA P.P. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Química Nova, v. 25, n.1, pp.78-82, 2002.

LEITE, S.Q.M. et al. **Extração de ferro de esmectita brasileira com emprego do método ditiomito-citrato-bicarbonato**. Inst. Química – UFRJ. Química Nova, v.23(3), pp 297-302, 2000.

LI, X. D.; POON, C. S.; SUN, H.; LO, I. M. C.; KIRK D. W. ***Heavy metal speciation and leaching behaviors in cement based solidified/stabilized waste materials***. Journal of Hazardous Materials, A82, p. 215-230, 2001.

LIMA, L.M.Q. **Lixo – Tratamento e Biorremediação**. 3. ed. Hemus, São Paulo, 1995.

LIMA JR, R.M. **Desenvolvimento de um sistema com banco de dados para a classificação e caracterização de resíduos e gases industriais**. Dissertação de M.Sc., Unicamp, Campinas,SP, 2001.

LINDNER, G. **Uso de modelo reduzido para pesquisa e desenvolvimento de blocos cerâmicos estruturais**. Dissertação de M.Sc. UFSC, Florianópolis, SC, 2001.

MALAVOLTA, E. **Avaliação Nutricional das Plantas - Princípios e Aplicação**. 2ª ed., Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, SP, 1997.

MALVIYA, R.; CHAUDHARY, R. **Factors affecting hazardous waste solidification/stabilization:** A review. Journal of Hazardous Materials B137 267–276, 2006.

MARTINS, G.B.H. **Práticas limpas aplicadas às indústrias têxteis de Santa Catarina**. Dissertação de M.Sc., UFSC, Florianópolis, SC, 1997.

MATTIAS, J. L. **Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em microbacias hidrográficas de Santa Catarina**. Tese de doutorado, UFSM, Santa Maria, RS, 2006.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **O Estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas**. Revista Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, 2002.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. **Perfil da indústria de cerâmica no estado do Paraná**. 2000, Disponível em <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/09_relatorios_co. Acesso em junho de 2007.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A **Caracterização tecnológica de materiais cerâmicos**. 2003,Disponível em

<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=61> Acesso em junho de 2007.

MORAES, S.G. **Processo fotocatalítico combinado com sistemas biológicos no tratamento de efluentes têxteis**. Tese de doutorado, Unicamp, Campinas, 1999).

MOREIRA A. H., R.M. OLIVEIRA, P.D.S. LIMA. **Efeito da adição de lodo de águas residuais da indústria têxtil as propriedades de materiais de construção**. CERÂMICA INDUSTRIAL, n. 47, p. 158-162, Fortaleza, CE, 2001.

MOTTA, J.F.M., et al. **As matérias-primas cerâmicas. Parte 1: O perfil das principais matérias-primas cerâmicas e seus produtos**. Cerâmica Industrial, v.6, n.2, pp 28-39, 2001.

NORTEVISUAL – Serviços Ambientais, Av. Cidade de Leiria, 637, zona 4, Maringá, PR, <www.nortevisual.com.br>

OCAMPO, M.I. **A indústria têxtil e o meio ambiente**. Química Têxtil, v.53, p20-23, São Paulo, 1998)

OLIVEIRA, A C.M. **Matérias primas e insumos industriais: Situação atual e perspectivas**. Confederação das Indústrias, 425 p., Rio de Janeiro, 1980.

PETERS, D. G.; HAYES, J. M.; HIEFTJE, G. M. **Chemical separations and measurements: theory and practice of analytical chemistry**. Capítulo 2, p. 24-26, 1974.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de construção**. 3. ed. Globo, Porto Alegre, 1978.

PIETROBON C.L.R., et al - **Estudos preliminares sobre estabilização/solidificação – e/s de lodo de tratamento de lavanderia têxtil para utilização como argamassa de construção: exame de caso para Maringá, estado do Paraná**. Acta Scientiarum Tecnology, v.24, n.6, p. 1659-1664, Maringá, PR, 2002.

PIETROBON C.L.R., et al – **Lixiviação de contaminantes de compostos de lodo-cimento**. Acta Scientiarum Tecnology, v.26, n.1, p. 45-52, Maringá, PR, 2004.

PRIM, E. C. C., **Reaproveitamento do Lodo da Indústria têxtil como Material de Construção Civil – Aspectos Ambientais e Tecnológicos**. Dissertação de Mestrado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 1998.

RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005, **Classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, Ministério do Meio Ambiente, 2005.

ROCCA, A.C.C. et al. **Resíduos sólidos industriais**. 2. ed. Cetesb, São Paulo, 233 p, 1993.

REED, S. James, **Principles of Ceramics Processing**, 3. Ed. John Wiley & Sons, EUA, McGraw-Hill,1996

SANZ, J., MADANI, A., SERRATOSA, J.M., MOYA, J.S., AZA, S., Journal of American Ceramic Society, vol. 71, issue 10, p. C 418-C 421, Ohio-USA, 1988.

SANTOS, H.S., KIYOHARA P., et al, "**Estudo por microscopia eletrônica das transformações durante a queima de argilas altamente aluminosas brasileiras"**, Cerâmica, vol. 52, n.322, p. 125-137, São Paulo, 2006.

SANTOS, P.S. **Ciência e tecnologia das argilas**. V.1, 2ª ed., Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1989.

SKOOG, D.A.; WEST, D. M.; HOOLER, F. J. **Fundamentals of analytical chemistry**. Saunders College Publishing. 6 ed. 822 p, New York, 1992.

SUNDARAM, S. **Characterization and reuse of textile efluent treatment plant waste sludgein clay bricks**. Journal of the University of Chemical Tecnology and Metallurg, n. 41, p. 4. Departament of Chemical Engineering, National Institute of Tecnology, Tamilnadu, Índia, 2006.

SUZUKI, K., ONO, Y. *Leaching characteristics of stabilized/solidified fly ash generated from ash-melting plant*. Chemosphere, vol. 71, Issue 5, pages 922-932, 2008.

TAVARES, T. M. e CARVALHO, F. M. **Avaliação da exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplo do Recôncavo Baiano**. Química Nova, v.15, n. 3, p. 147, São Paulo, SP, 1992.

TESSIER, A., CAMPBELL, P.G.C., BISSON, M. **Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals.** Analytical Chemistry, vol. 51, No. 7, pages 844–851, 1979.

TRUSSEL. S.; SPENCE, R.D. **A Review of Solidification/Stabililization Interferences**. Waste Management, v. 14, n. 6, p.p. 507-519, 1994.

USERO J., GAMERO M., MORILLO J., GRACIA I. **Comparative study of three sequential extraction procedures for metals in marine sediments**. Environment International, vol. 24, Issue 4, Pages 487-496, 1998.

VIEIRA, C.M.F. ,MONTEIRO S.N. **Influência da temperatura de queima na microestrutura de argilas de Campos dos Goytacazes – RJ**. Revista Cerâmica, v. 49, pp 6-10, São Paulo, 2003.

VIEIRA, C.M.F. , CARDOSO , B.R., MONTEIRO S.N. **Influência da adição de argila fundente em massa de cerâmica vermelha caulinítica**. Jornadas Sam/Conamet/Simpósio Matéria, PP 09-19, 2003.

VIEIRA, C.M.F. ; MONTEIRO, S.N.; FILHO, J.D. **Considerações sobre o uso da granulometria como parâmetro de controle de uma argila sedimentar**. Revista Cerâmica Industrial, v.10, n.1, São Paulo, 2005.

VISVANATHAN, C. **Hazardous waste disposal: Conservation and Recycling**. Resources, n.16, p.p 201-202, 1996.

XISTOQUÍMICA. **Imobilização e aproveitamento de rejeitos industriais sólidos**. Disponível em http://www.xistoquimica.ufrj.br/imobilizacao.htm. Acesso em junho de 2007.

WENG, C.-H.; LIN, D.-F.; CHIANG, P.-C. **Utilization of sludge as brick material.** Advances in Environmental Research, v.7, n.3, pp. 679–685, Taiwan, 2003.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Kaminata, Oswaldo Teruo
K15a Aproveitamento do lodo gerado no tratamento de efluente da indústria de lavanderia têxtil na produção de bloco de cerâmica vermelha / Oswaldo Teruo Kaminata. -- Maringá : [s.n.], 2008.
128 f. : figs. (algumas color.), tabs.

Orientadora : Profa. Dra. Célia Regina Granhen Tavares.
Co-orientadora : Profa. Dra. Cláudia Telles Benatti.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2008.

1. Lodo - Lavanderia têxtil. 2. Lodo - Lavanderia têxtil - Tratamento. 3. Lodo - Lavanderia têxtil - Reaproveitamento. 4. Cerâmica vermelha com lodo de lavanderia. 5. Argila com lodo de lavanderia. 6. Blocos cerâmicos - Lodo têxtil. I. Tavares, Célia Regina Granhen, orient. II. Benatti, Cláudia Telles, co-orient. III. Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. IV. Título.

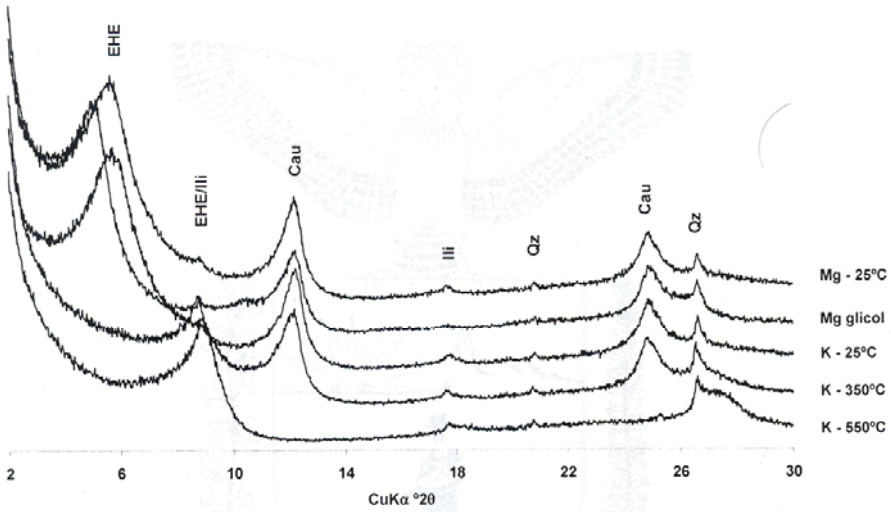
CDD 21.ed.628.4458

Fundação Universidade Estadual de Maringá

UNIDADE **CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS
LABORATÓRIO DE QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO
Bloco I-78

ANÁLISE: Análises especiais (Fração argila – Amostra 11) – Preparo de amostra para análise de difração de raios-X.

INTERESSADO: Professora Célia Regina Granhen Tavares - DEQ



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada (Amostra 11) após tratamento com citrato-ditionito-bicarbonato de sódio. Amostra saturada com Mg, Mg-glicolada; saturada com K a 25 ºC; 350 ºC e 550 ºC. Cau: Caulinita; EHE: esmectita com hidroxi-Al entrecamadas; Qz: quartzo; Ili: Ilita. Equipamento: Shimadzu XRD-6000, utilizando radiação de CuKα, filtro de níquel, operando a 30 mA e 40 kV, numa varredura escalonada de 0,02 °2θ por 0,6 segundos numa amplitude de 2 a 30 °2θ.

OBS.: Os resultados restringem-se à(s) amostra(s) analisada(s).

Maringá, 16 de maio de 2008

Ivan Granemann de Souza Junior, MSc.
Engº Agrônomo
CREA: PR 67308/D

Antonio Carlos Saraiva da Costa, Ph.D
Engº Agrônomo - Coordenador
CREA: PR 73639/D

Campus Universitário - Avenida Colombo, 5.790 - (DDD 0xx44) Fone: 261-4040 (PABX)
Fax: 044-222-2754 - CEP 87020-900 - MARINGÁ - Paraná (5)

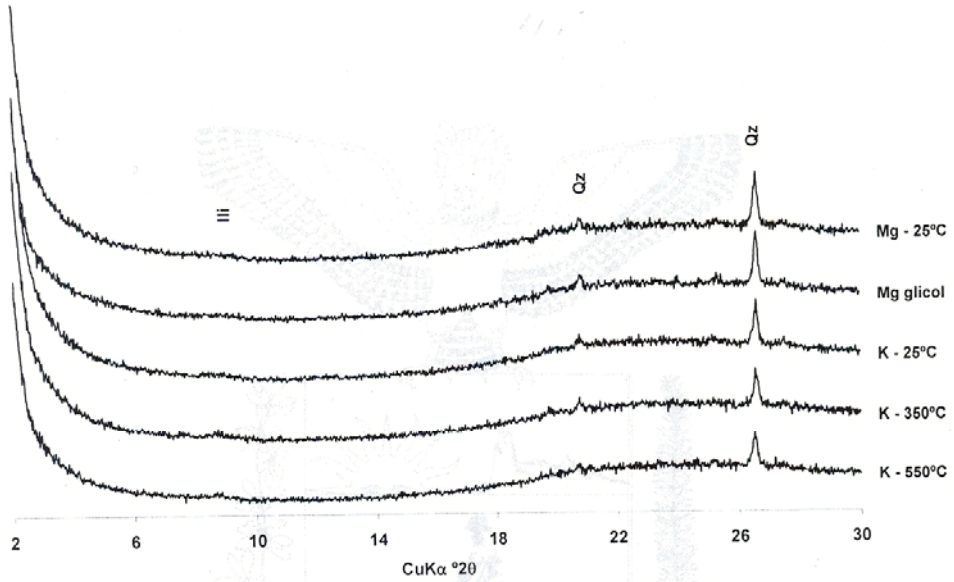
Fundação Universidade Estadual de Maringá

UNIDADE

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS
LABORATÓRIO DE QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO
Bloco I-78

ANÁLISE: Análises especiais (Fração argila – Amostra 12) – Preparo de amostra para análise de difração de raios-X.

INTERESSADO: Professora Célia Regina Granhen Tavares - DEQ



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada (Amostra 12) após tratamento com citrato-ditionito-bicarbonato de sódio. Amostra saturada com Mg, Mg-glicolada; saturada com K a 25 °C; 350 °C e 550 °C. Qz: quartzo; Ili: Ilita. Equipamento: Shimadzu XRD-6000, utilizando radiação de CuKα, filtro de níquel, operando a 30 mA e 40 kV, numa varredura escalonada de 0,02 °2θ por 0,6 segundos numa amplitude de 2 a 30 °2θ.

OBS.: Os resultados restringem-se à(s) amostra(s) analisada(s).

Maringá, 16 de maio de 2008

Ivan Granemann de Souza Junior, MSc.
Engº Agrônomo
CREA: PR 67308/D

Antonio Carlos Saraiva da Costa, Ph.D
Engº Agrônomo - Coordenador
CREA: PR 73639/D

Campus Universitário - Avenida Colombo, 5.790 - (DDD 0xx44) Fone: 261-4040 (PABX)
Fax: 044-222-2754 - CEP 87020-900 - MARINGÁ - Paraná

Fundação Universidade Estadual de Maringá

UNIDADE **CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS
LABORATÓRIO DE QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO
Bloco I-78

ANÁLISE: Análises especiais - Preparo e quantificação dos minerais da fração argila livre dos óxidos de ferro

INTERESSADO: Professora Célia Regina Granhen Tavares - DEQ

Amostra	Identificação	Caulinita	Gibbsita	Residual
		g kg^{-1}		
011/08	Amostra 11 – fração argila DCB	427	0	573
012/08	Amostra 12 – fração argila DCB	n.d.	n.d.	n.d.
013/08	Amostra 13 – fração argila +silte DCB	n.d.	n.d.	n.d.

Minerais quantificados na fração argila livre dos óxidos de ferro; Caulinita e gibbsita determinados por análise por análise termogravimétrica; residual (argilominerais do tipo 2:1) obtido pela subtração da quantidade total de caulinita e gibbsita na amostra, após constatação desses minerais por difratometria de raios-X. n.d. não detectado. Termogramas obtidos num equipamento Shimadzu TA-50, operando em atmosfera de N_2.

OBS.: Os resultados restringem-se à(s) amostra(s) analisada(s).

Maringá, 16 de maio de 2008

Ivan Granemann de Souza Junior, MSc.
Engº Agrônomo
CREA: PR 67308/D

Antonio Carlos Saraiva da Costa, Ph.D
Engº Agrônomo - Coordenador
CREA: PR 73639/D

Campus Universitário - Avenida Colombo, 5.790 - (DDD 0xx44) Fone: 261-4040 (PABX)
Fax: 044-222-2754 - CEP 87020-900 - MARINGÁ - Paraná

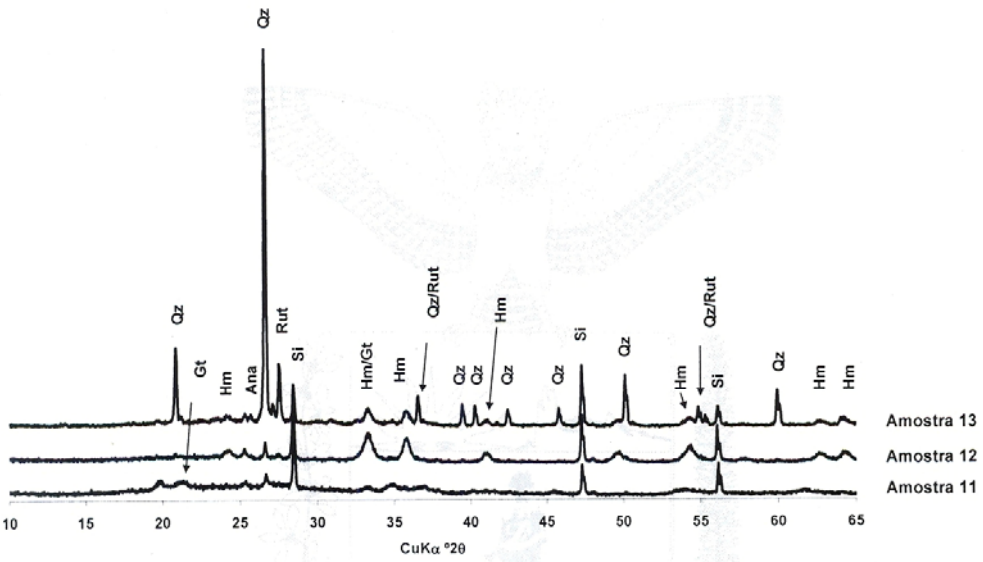
Fundação Universidade Estadual de Maringá

UNIDADE

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS
LABORATÓRIO DE QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO
Bloco I-78

ANÁLISE: Análises especiais - Análise semiquantitativa dos óxidos de ferro da fração argila das amostras

INTERESSADO: Professora Célia Regina Granhen Tavares - DEQ



Difratogramas de raios-X das amostras após dissolução seletiva dos minerais aluminossilicatados com NaOH 5 mol L^{-1} fervente para concentração dos óxidos de ferro (Amostra 11 e 12 – fração argila; amostra 13 – argila+silte). Gt: goethita; Hm: hematita; Qz: quartzo; Ana: anatásio; Rut: rutilo; Si: silício (adicionado como padrão interno para correção das distorções instrumentais). Difratogramas obtidos num equipamento Shimadzu XRD-6000, utilizando radiação de CuKα, filtro de níquel, operando a 30 mA e 40 kV, numa varredura escalonada de 0,02 °2θ por 0,6 segundos numa amplitude de 5 a 80 °2θ.

OBS.: Os resultados restringem-se à(s) amostra(s) analisada(s).

Maringá, 16 de maio de 2008

Ivan Granemann de Souza Junior, MSc.
Engº Agrônomo
CREA: PR 67308/D

Antonio Carlos Saraiva da Costa, Ph.D
Engº Agrônomo - Coordenador
CREA: PR 73639/D

Campus Universitário - Avenida Colombo, 5.790 - (DDD 0xx44) Fone: 261-4040 (PABX)
Fax: 044-222-2754 - CEP 87020-900 - MARINGÁ - Paraná

Fundação Universidade Estadual de Maringá

UNIDADE

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS
LABORATÓRIO DE QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO
Bloco I-78

ANÁLISE: Análises especiais - Análise semiquantitativa dos óxidos de ferro da fração argila

INTERESSADO: Professora Célia Regina Granhen Tavares - DEQ

Amostra	Identificação	Hematita	Goethita	Maghemita
		g kg^{-1}		
011/08	Amostra 11 – fração argila após NaOH 5 mol L^{-1}	740	110	150
012/08	Amostra 12 – fração argila após NaOH 5 mol L^{-1}	720	100	180
013/08	Amostra 13 – fração argila+silte após NaOH 5 mol L^{-1}	720	110	170

Semiquantificação dos minerais presentes na fração argila (amostras 11 e 12) e argila+silte (amostra 13) após concentração dos óxidos de ferro. Minerais semiquantificados por difratometria de raios-X, de acordo com a área relativa dos reflexos d_{012} da hematita (X 3,5); d_{110} da goethita e d_{220} da maghemita (X 3,5). Difratogramas obtidos num equipamento Shimadzu XRD-6000, utilizando radiação de CuKα, filtro de níquel, operando a 30 mA e 40 kV, numa varredura escalonada de 0,02 º2θ por 0,6 segundos numa amplitude de 5 a 80 º2θ.

Bibliografia

KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. 1982. The NaOH concentration method for iron oxides in soils. Clays and Clays Minerals, 30:401-408.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: Dixon, J. B.; Weed, S. B. (ed). Minerals in soil environments. 2. Ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. Cap. 8, p. 379-438.

OBS.: Os resultados restringem-se à(s) amostra(s) analisada(s).

Maringá, 16 de maio de 2008

Ivan Granemann de Souza Junior, MSc.
Engº Agrônomo
CREA: PR 67308/D

Antonio Carlos Saraiva da Costa, Ph.D
Engº Agrônomo - Coordenador
CREA: PR 73639/D

Campus Universitário - Avenida Colombo, 5.790 - (DDD 0xx44) Fone: 261-4040 (PABX)
Fax: 044-222-2754 - CEP 87020-900 - MARINGÁ - Paraná

M.J.A. TECNOLOGIA E CONSULTORIA LTDA - C.N.P.J. 07.291.352/0001-92
AV. MORANGUEIRA. 1121 - CEP 87033-070 - TELEFAX: (44) 3263-6533 - MARINGÁ - PR

ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

41-08

Requerente :	**Sr. Oswaldo T. Kaminata**
Responsável:	**Sr. Oswaldo T. Kaminata**
Obra :	**Universidade Estadual de Maringá**
Cidade :	**Maringá/Pr**
Data do Relatório :	**02/07/08**

DADOS DO MATERIAL

Material Ensaiado:	**Argamassa de emboço (1:2:8)**
Idade:	**28 dias**

NORMAS TÉCNICAS / EQUIPAMENTOS

NBR 13528 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração*

NBR 13749 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Especificação*

ESPECIFICAÇÃO NBR - 13749

O revestimento deverá ser aceito se de cada grupo de seis ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias) pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores aos indicados na tabela abaixo.

Local de aplicação do revestimento		Acabamento	Resistência de Aderência à tração (MPa)
Parede	interna	Pintura ou reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	externa	Pintura ou reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto		Pintura	≥ 0,20

RESULTADOS

Local do ensaio : Parede teste - Ponto 1

AMOSTRA (cm²)	*ÁREA (cm²)*	*CARGA (kg)*	*RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA (MPa)*	*LOCAL DE RUPTURA*
1	19,63	68,00	**0,35**	100% Interface Argamassa/Substrato
2	19,63	39,00	**0,20**	100% Interface Argamassa/Substrato
3	19,63	45,00	**0,23**	100% Interface Argamassa/Substrato
4	19,63	61,00	**0,31**	100% Interface Argamassa/Substrato
5	19,63	66,00	**0,34**	100% Argamassa
6	19,63	69,00	**0,35**	100% Interface Argamassa/Substrato

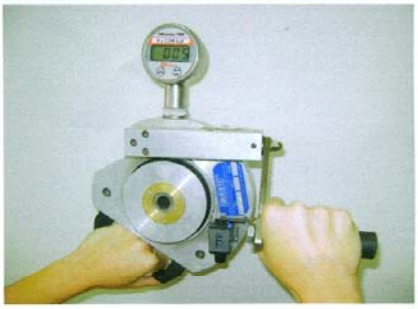
Jacenil de Moraes
Laboratorista

Engº Mauro José de Souza Araújo
Crea 16.296 -D/Pr

HOME PAGE: www.controlnort.com.br - E-MAIL: controlnort@wnet.com.br

M.J.A. TECNOLOGIA E CONSULTORIA LTDA - C.N.P.J. 07.291.352/0001-92
AV. MORANGUEIRA. 1121 - CEP 87033-070 - TELEFAX: (44) 3263-6533 - MARINGÁ - PR

ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO



42-08

Requerente :	**Sr. Oswaldo T. Kaminata**
Responsável:	**Sr. Oswaldo T. Kaminata**
Obra :	**Universidade Estadual de Maringá**
Cidade :	**Maringá/Pr**
Data do Relatório :	**02/07/08**

DADOS DO MATERIAL

Material Ensaiado: **Argamassa de emboço (1:2:8)**
Idade: **28 dias**

NORMAS TÉCNICAS / EQUIPAMENTOS

NBR 13528 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração*
NBR 13749 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Especificação*

ESPECIFICAÇÃO NBR - 13749

O revestimento deverá ser aceito se de cada grupo de seis ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias) pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores aos indicados na tabela abaixo.

Local de aplicação do revestimento		Acabamento	Resistência de Aderência à tração (MPa)
Parede	interna	Pintura ou reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	externa	Pintura ou reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto		Pintura	≥ 0,20

RESULTADOS

Local do ensaio : Parede teste - Ponto 2

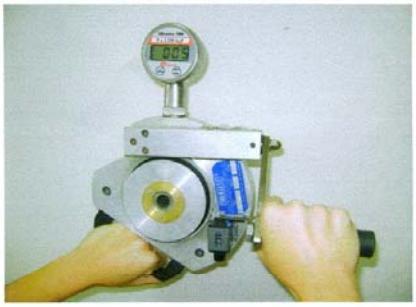
AMOSTRA (cm²)	*ÁREA (cm²)*	*CARGA (kg)*	*RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA (MPa)*	*LOCAL DE RUPTURA*
1	-	-	-	-
2	19,63	57,00	**0,29**	100% Interface Argamassa/Substrato
3	19,63	84,00	**0,43**	100% Interface Argamassa/Substrato
4	19,63	82,00	**0,42**	100% Interface Argamassa/Substrato
5	19,63	54,00	**0,28**	100% Interface Argamassa/Substrato
6	19,63	120,00	**0,61**	100% Interface Argamassa/Substrato

Jucenil de Moraes
Laboratorista

Engº Mauro José de Souza Araújo
Crea 16.296 -D/Pr

M.J.A. TECNOLOGIA E CONSULTORIA LTDA - C.N.P.J. 07.291.352/0001-92
AV. MORANGUEIRA. 1121 - CEP 87033-070 - TELEFAX: (44) 3263-6533 - MARINGÁ - PR

ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO



43-08

Requerente : **Sr. Oswaldo T. Kaminata**
Responsável: **Sr. Oswaldo T. Kaminata**
Obra : **Universidade Estadual de Maringá**
Cidade : **Maringá/Pr**
Data do Relatório : **02/07/08**

DADOS DO MATERIAL

Material Ensaiado: **Argamassa de emboço (1:2:8)**
Idade: **28 dias**

NORMAS TÉCNICAS / EQUIPAMENTOS

NBR 13528 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração*
NBR 13749 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Especificação*

ESPECIFICAÇÃO NBR - 13749

O revestimento deverá ser aceito se de cada grupo de seis ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias) pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores aos indicados na tabela abaixo.

Local de aplicação do revestimento		Acabamento	Resistência de Aderência à tração (MPa)
Parede	interna	Pintura ou reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	externa	Pintura ou reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto		Pintura	≥ 0,20

RESULTADOS

Local do ensaio : Parede teste - Ponto 3

AMOSTRA (cm²)	*ÁREA (cm²)*	*CARGA (kg)*	*RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA (MPa)*	*LOCAL DE RUPTURA*
1	19,63	61,00	**0,31**	100% Interface Argamassa/Substrato
2	19,63	41,00	**0,21**	100% Interface Argamassa/Substrato
3	19,63	10,00	**0,05**	100% Interface Argamassa/Substrato
4	19,63	66,00	**0,34**	100% Interface Argamassa/Substrato
5	19,63	95,00	**0,48**	100% Interface Argamassa/Substrato
6	19,63	64,00	**0,33**	100% Interface Argamassa/Substrato

Jucenil de Moraes
Laboratorista

Engº Mauro José de Souza Araújo
Crea 16.296 -D/Pr

M.J.A. TECNOLOGIA E CONSULTORIA LTDA - C.N.P.J. 07.291.352/0001-92
AV. MORANGUEIRA. 1121 - CEP 87033-070 - TELEFAX: (44) 3263-6533 - MARINGÁ - PR

ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

44-08

Requerente :	**Sr. Oswaldo T. Kaminata**
Responsável:	**Sr. Oswaldo T. Kaminata**
Obra :	**Universidade Estadual de Maringá**
Cidade :	**Maringá/Pr**
Data do Relatório :	**02/07/08**

DADOS DO MATERIAL

Material Ensaiado:	**Argamassa de emboço (1:2:8)**
Idade:	**28 dias**

NORMAS TÉCNICAS / EQUIPAMENTOS

NBR 13528 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração*

NBR 13749 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Especificação*

ESPECIFICAÇÃO NBR - 13749

O revestimento deverá ser aceito se de cada grupo de seis ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias) pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores aos indicados na tabela abaixo.

Local de aplicação do revestimento		Acabamento	Resistência de Aderência à tração (MPa)
Parede	interna	Pintura ou reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	externa	Pintura ou reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto		Pintura	≥ 0,20

RESULTADOS

Local do ensaio : Parede teste - Ponto 4

AMOSTRA (cm²)	*ÁREA (cm²)*	*CARGA (kg)*	*RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA (MPa)*	*LOCAL DE RUPTURA*
1	19,63	67,00	**0,34**	100% Interface Argamassa/Cola
2	19,63	71,00	**0,36**	100% Interface Argamassa/Cola
3	19,63	12,00	**0,06**	100% Interface Argamassa/Substrato
4	19,63	113,00	**0,58**	100% Interface Argamassa/Substrato
5	19,63	78,00	**0,40**	100% Interface Argamassa/Cola
6	19,63	56,00	**0,29**	100% Interface Argamassa/Cola

Jucenir de Moraes
Laboratorista

Engº Mauro José de Souza Araújo
Crea 16.296 -D/Pr

HOME PAGE: www.controlnort.com.br - E-MAIL: controlnort@wnet.com.br

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo