

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

THIAGO MORAIS DE CASTRO

**SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO DE LODO GERADO NO
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA INDUSTRIAL
TÊXTIL EM BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS E SEU
DESEMPENHO EM CÂMARA REVERBERANTE**

MARINGÁ

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

THIAGO MORAIS DE CASTRO

**SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO DE LODO GERADO NO
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA INDUSTRIAL
TÊXTIL EM BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS E SEU
DESEMPENHO EM CÂMARA REVERBERANTE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana na área de concentração Infra-estrutura e Sistemas Urbanos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Célia Regina Granhen Tavares.

MARINGÁ

2010

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

C355s Castro, Thiago Morais de
Solidificação/estabilização de lodo gerado no tratamento de efluente de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos acústicos e seu desempenho em câmara reverberante. / Thiago Morais de Castro. -- Maringá, 2010.
xx, 86f. : il. color., figs., tabs.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Célia Regina Granhen Tavares.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2010.

1. Solidificação - Lodo têxtil - Tratamento de resíduos. 2. Reaproveitamento - Lodo têxtil - Tratamento de resíduos. 3. Estabilização - Lodo têxtil - Tratamento de resíduos. 4. Lodo têxtil - Tratamento de resíduos. 5. Lavanderia têxtil - Tratamento de resíduos. 6. Ressorador de Helmholtz. 7. Bloco cerâmico acústico - Coeficiente de absorção sonora. 8. Coeficiente de absorção sonora - Câmara reverberante - Tempo de reverberação. I. Tavares, Célia Regina Granhen, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. III. Título.

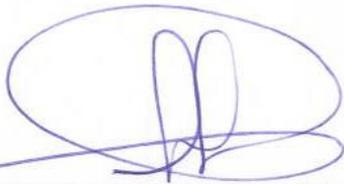
CDD 21.ed. 628.445

THIAGO MORAIS DE CASTRO

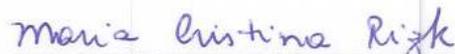
SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO DO LODO GERADO NO
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA INDUSTRIAL
TÊXTIL EM BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS E SEU
DESEMPENHO EM CÂMARA REVERBERANTE

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

APROVADA em 22 de março de 2010.



Prof. Dr. Paulo Fernando Soares



Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Rizk



Prof^a. Dr^a. Célia Regina Granhen Tavares
(Orientadora)

Aos meus pais Geraldo e Ivana, aos meus irmãos Tadeu e Paulo e à Roberta, que como sempre estiveram comigo em mais uma etapa da minha carreira.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida pela vida e por sempre me guiarem e fazerem as coisas certas no momento certo.

Aos meus pais, meus irmãos, à Roberta e toda a minha família por me apoiarem nas minhas decisões contribuindo com o meu crescimento profissional.

À minha orientadora, Prof^a. Célia Regina Granhen Tavares pela oportunidade e confiança dada para desenvolver esta pesquisa, pela dedicação em transmitir seus conhecimentos, e pelo verdadeiro profissionalismo.

Ao Prof. Dr. Paulo Fernando Soares, pelo exemplo de sabedoria e de apoio no desenvolvimento da pesquisa.

À amiga e Prof^a. Aline Lisot por estar sempre a disposição para contribuir com o desenvolvimento da pesquisa e pela sua competência.

Ao amigo, Engenheiro Civil e Mestre Oswaldo Teruo Kaminata, por doar seu tempo e esforço, sempre demonstrar solidariedade e auxílio em praticamente todas as etapas da pesquisa, um verdadeiro exemplo de inteligência, trabalho e dedicação.

À indústria de cerâmica Ki-Lajes em Japurá-PR por fornecer o “barro” e suas instalações para a queima dos blocos cerâmicos acústicos.

Aos colegas Marcelo, Laura, Diego e Thaise por enfiarem a mão na massa, literalmente.

Aos profissionais do Laboratório de Materiais de Construção e Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá que sempre estiveram de prontidão para me auxiliar.

À equipe do Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental, funcionários e alunos do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá que foi envolvida no

auxílio dos ensaios físicos e químicos.

Ao Prof. Eduardo Radovanovic pelo apoio no ensaio de MEV.

*À equipe do Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP)
pelo apoio.*

*Ao Sr. Elias pelo trabalho árduo e delicado de abrir as cavidades dos
blocos ressoadores.*

*Ao Christian, Daniel e Obadias, da Unicamp que foram muito
atenciosos e prestativos em me auxiliar nos ensaios acústicos dos
blocos cerâmicos.*

*Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Urbana (PEU) e do DEC pelos momentos passados juntos.*

Aos mestrandos e colegas do PEU pelas trocas de conhecimentos.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Enfim, a todos que contribuíram com este projeto.

**Nossa recompensa se encontra no
esforço e não no resultado. Um esforço
total é uma vitória completa.**

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

As lavanderias industriais têxteis, durante o tratamento de seus efluentes, geram quantidades consideráveis de lodo. Com relação ao destino final adequado do lodo, vêm sendo desenvolvidos estudos no sentido de sua valorização. Outros graves problemas ambientais comuns estão relacionados com a má qualidade acústica em ambientes fechados e com o ruído gerado pelo tráfego de veículos principalmente no meio urbano. O uso de materiais absorvedores de energia sonora e de barreiras acústicas tem se difundido como uma alternativa para o controle de ruído. Vários pesquisadores acreditam que uma das formas de melhorar o desempenho de barreiras acústicas é utilizar ressoadores de Helmholtz na sua execução. Para o caso dos lodos obtidos em lavanderias industriais o tratamento que envolve a solidificação/estabilização, apresenta-se como alternativa viável, por ser capaz de reter elementos contaminantes em uma matriz sólida. O objetivo desta dissertação é avaliar a viabilidade da incorporação do lodo de lavanderias industriais têxteis, por meio do processo de Solidificação/Estabilização (S/E) em blocos cerâmicos acústicos (ressoadores de Helmholtz), avaliando os seus desempenhos em câmara reverberante. Foram produzidas amostras de blocos cerâmicos, em escala reduzida com um quinto do tamanho real, utilizando formulações com 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 35% de lodo, na massa de argila cerâmica, para definir a máxima incorporação adequada. Além destes, foram produzidos blocos controle, fabricados somente com a argila cerâmica. As análises físicas, mecânicas e químicas de lixiviação e solubilização dos extratos obtidos, dos blocos produzidos até a incorporação máxima de 25% de lodo apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos nas normas vigentes, no entanto, observou-se que a incorporação máxima de 20% levou à obtenção de um produto com maior garantia de qualidade técnica. Os blocos cerâmicos acústicos desenvolvidos somente com argila e com a incorporação de 20% de lodo misto de lavanderia industrial foram analisados em câmara reverberante em escala reduzida, onde foram obtidos seus coeficientes de absorção sonora. Verificou-se que os valores obtidos atenderam o projeto, pois os blocos são estruturas capazes de absorver o som em frequências específicas, e foram dimensionados com o objetivo de reduzir os Níveis de Pressão Sonora (NPS) nas baixas frequências, em especial entre 125 e 250 Hertz.

Palavras-chave: Lodo de lavanderia têxtil, solidificação/estabilização, bloco cerâmico acústico, coeficiente de absorção.

ABSTRACT

Industrial textile laundries generate considerable amounts of sludge during the treatment of their effluents. As for the appropriate final destination of the sludge, studies have been made concerning its valuation. Other serious common environmental problems are related with the bad acoustic quality in closed places and the noise generated by the traffic of vehicles, mainly in urban areas. The use of absorbing materials of resonant energy and of acoustic barriers has been considered as an alternative for noise control. Several researchers believe that one way of improving the performance of acoustic barriers is to use Helmholtz resonators in their execution. In the case of sludge produced at industrial laundries, the treatment that involves the solidification/stabilization, comes as a viable alternative, as it is capable of keeping polluting elements in a solid source. The aim of this work is to evaluate the viability of incorporating industrial textile laundry sludge, by means of a Solidification/stabilization (S/S) process in acoustic ceramic blocks (Helmholtz resonators) evaluating their performance in reverberant camera. Samples of ceramic blocks were produced in reduced scale, a fifth of the real size, using formulations with 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% and 35% of sludge in the mass of ceramic clay, to define the maximum appropriate incorporation. In addition, control blocks were produced, manufactured only with ceramic clay. Leaching and solubility, physical mechanical and chemical analyses of the extracts from blocks produced at a maximum incorporation of 25% of sludge were within the established limits by the current norms, however, it was observed that the maximum incorporation of 20% led to a product of higher technical quality. The acoustic ceramic blocks, developed only with clay and with the incorporation of 20% of mixed industrial laundry sludge, were analyzed in reverberant camera in reduced scale, where their resonant absorption coefficients were obtained. It was verified that the values obtained satisfied the project, because the blocks are structures capable of absorbing the sound in specific frequencies, and they were dimensioned to reduce Levels of Resonant Pressure in low frequencies, especially between 125 and 250 Hertz.

Key-words: Textile laundry Sludge; Solidification/stabilization; Acoustic ceramic block; Absorption coefficient

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xvi
NOMENCLATURA	xviii
<u>1</u> <u>INTRODUÇÃO</u>	<u>1</u>
1.1 OBJETIVO GERAL	2
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
<u>2</u> <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	<u>4</u>
2.1 RESÍDUO SÓLIDO: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	4
2.1.1 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	7
2.2 INDÚSTRIA TÊXTIL	8
2.2.1 LAVANDERIA INDUSTRIAL TÊXTIL	10
2.2.1.1 Efluente gerado em lavanderias industriais têxteis	10
2.2.1.2 Lodo gerado no processo de tratamento do efluente de lavanderias industriais têxteis	13
2.3 TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DO LODO	13
2.3.1 SECAGEM E DESIDRATAÇÃO	14
2.3.2 ATERRO INDUSTRIAL	14
2.3.3 INCINERAÇÃO	15
2.3.4 SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO	16
2.3.5 OUTRAS FORMAS DE TRATAMENTO OU DESTINAÇÃO FINAL DE LODO INDUSTRIAL	
	17

2.4	CERÂMICA VERMELHA	18
2.4.1	INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA NO ESTADO DO PARANÁ	19
2.4.2	ARGILA CERÂMICA	20
2.4.3	BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL	21
2.5	INCORPORAÇÃO DE LODO GERADO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVANDERIAS INDUSTRIAIS TÊXTEIS EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – PROCESSO DE SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO	21
2.6	ACÚSTICA	24
2.6.1	O SOM: CONCEITO E CARACTERÍSTICAS	25
2.6.2	ACÚSTICA DE AMBIENTES FECHADOS E O TEMPO DE REVERBERAÇÃO	27
2.6.3	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DE SABINE	28
2.6.4	CÂMARA REVERBERANTE	30
2.6.5	RESSOADOR DE HELMHOLTZ	30
2.6.6	BLOCO CERÂMICO ACÚSTICO	33
3	<u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	35
3.1	COLETA E BENEFICIAMENTO DO LODO DE LAVANDERIA TÊXTIL	36
3.2	COLETA E BENEFICIAMENTO DA ARGILA CERÂMICA	36
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE LAVANDERIA TÊXTIL	38
3.4	CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA CERÂMICA	39
3.5	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:5	40
3.6	PRODUÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS	41
3.6.1	PREPARAÇÃO E MISTURA DE LODO COM ARGILA	41
3.6.2	PRODUÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:5	42
3.6.3	PROCESSO DE SECAGEM DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS	44
3.6.4	PROCESSO DE QUEIMA DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS	44

3.7	CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS	46
3.7.1	ANÁLISES FÍSICAS	46
3.7.1.1	Características Geométricas	46
3.7.1.2	Retração Linear	47
3.7.1.3	Índice de absorção de água	48
3.7.1.4	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) – Análise de superfície	49
3.7.2	ANÁLISE MECÂNICA	49
3.7.2.1	Resistência característica à compressão	49
3.7.3	ANÁLISES QUÍMICAS	52
3.7.3.1	Caracterização de toxicidade dos blocos cerâmicos (Lixiviação e Solubilização)	52
3.7.4	ANÁLISE MINERALÓGICA	52
3.7.4.1	Difração de Raios-X (DRX)	52
3.7.5	CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA LODO/ARGILA MÁXIMA RECOMENDADA	53
3.8	DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DE SABINE DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (RESSOADORES DE HELMHOLTZ) EM CÂMARA REVERBERANTE	53
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	56
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO LODO	56
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA CERÂMICA	59
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS	61
4.3.1	ANÁLISES FÍSICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS	61
4.3.1.1	Características Geométricas	62
4.3.1.2	Retração Linear	63
4.3.1.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	64
4.3.1.4	Índice de Absorção de Água	65
4.3.2	ANÁLISE MECÂNICA EM BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS	66

4.3.2.1	Resistência característica à compressão dos blocos cerâmicos acústicos	66
4.3.3	ANÁLISES QUÍMICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (ANÁLISE DE TOXICIDADE)	67
4.4	ANÁLISES MINERALÓGICAS DA ARGILA, DO LODO E DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS	69
4.5	ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS (TGA) DA ARGILA, DO LODO E DA MISTURA (ARGILA + 20% DE LODO MISTO)	70
4.6	CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA: ARGILA COM A QUANTIDADE MÁXIMA DE LODO RECOMENDADA	72
4.7	COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DOS BLOCOS RESSOADORES DETERMINADOS EM CÂMARA REVERBERANTE	72
<u>5</u>	<u>CONCLUSÕES</u>	<u>78</u>
<u>6</u>	<u>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</u>	<u>80</u>
<u>7</u>	<u>REFERÊNCIAS</u>	<u>81</u>

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – FLUXOGRAMA DE CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	6
FIGURA 2.2 – FLUXOGRAMA GERAL DO PROCESSO DE TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL TÊXTIL	11
FIGURA 2.3 – ESQUEMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO QUÍMICO DE COMPOSTAGEM	18
FIGURA 2.4 – LOCALIZAÇÃO DAS REGIÕES PRODUTORAS DE CERÂMICA VERMELHA NO PARANÁ	20
FIGURA 2.5 – COMPRIMENTO DE ONDAS DE DIFERENTES FREQUÊNCIAS	26
FIGURA 2.6 – ESQUEMA DA DIVISÃO DO SOM AO ENCONTRAR UM OBSTÁCULO	27
FIGURA 2.7 – VASOS ACÚSTICOS	31
FIGURA 2.8 – MODELO GENÉRICO DE RESSOADOR DE HELMHOLTZ	31
FIGURA 2.9 – RESSOADOR DE HELMHOLTZ	32
FIGURA 2.10 – BLOCO CERÂMICO ACÚSTICO	33
FIGURA 3.1 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA ADOTADA	35
FIGURA 3.2 – ARGILA CERÂMICA DEPOSITADA PRÓXIMA À INDÚSTRIA CERÂMICA	37
FIGURA 3.3 – ETAPAS DO BENEFICIAMENTO DA ARGILA: (A) SECAGEM, (B) DESTORROAMENTO E (C) ARGILA PENEIRADA	37
FIGURA 3.4 – PROCESSO DE MISTURA DE LODO E ARGILA; (A) ARGILA CERÂMICA E LODO PRONTOS PARA SEREM MISTURADOS E (B) MISTURA DE LODO, ARGILA E ÁGUA	41
FIGURA 3.5 – EXTRUSORA DE LABORATÓRIO EQUIPADA COM CAIXA ALIMENTADORA (1), ADENSADOR (2), CÂMARA DE VÁCUO (3), BOQUILHA (4) E MESA DE CORTE (5)	42
FIGURA 3.6 – PRODUÇÃO DOS BLOCOS. EXTRUSÃO DA MASSA CERÂMICA (A) E CORTE DA MASSA CERÂMICA (B)	43
FIGURA 3.7 – BLOCOS CERÂMICOS DURANTE A ETAPA DE SECAGEM	44
FIGURA 3.8 – FORNO DA INDÚSTRIA CERÂMICA PARA QUEIMA DOS BLOCOS	45

FIGURA 3.9 – DIMENSÕES DAS FACES DO BLOCO (C = COMPRIMENTO, L = LARGURA E H = ALTURA)	46
FIGURA 3.10 – DESVIO EM RELAÇÃO AO ESQUADRO (D).....	47
FIGURA 3.11 – PLANEZA DAS FACES – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE DESVIO CÔNCAVO NO BLOCO	47
FIGURA 3.12 – PLANEZA DAS FACES – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE DESVIO CONVEXO NO BLOCO	47
FIGURA 3.13 – BLOCO CERÂMICO CAPEADO.....	50
FIGURA 3.14 – COMPRESSÃO AXIAL DE BLOCO DE VEDAÇÃO	50
FIGURA 3.15 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BLOCO CERÂMICO ACÚSTICO EM ESCALA REDUZIDA.....	50
FIGURA 4.1 – DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS DA AMOSTRA DE ARGILA	61
FIGURA 4.2 – IMAGENS OBTIDAS PELA MEV EM ESTRUTURAS DE BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (50X). CONTROLE (1), COM 5% DE LODO (2), 10% DE LODO (3), 15% DE LODO (4), 20% DE LODO (5), 25% DE LODO (6), 30% DE LODO (7) E 35% DE LODO (8)	64
FIGURA 4.3 – ÍNDICE MÉDIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM AMOSTRAS DOS BLOCOS CERÂMICOS (N=20)	65
FIGURA 4.4 – GRÁFICO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO NOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS	67
FIGURA 4.5 – DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX) DA ARGILA	69
FIGURA 4.6 – DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX) DO LODO	69
FIGURA 4.7 – DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX) DO BLOCO CONTROLE	69
FIGURA 4.8 – DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX) DO BLOCO COM INCORPORAÇÃO DE 20% DE LODO.....	69
FIGURA 4.9 – GRÁFICO DA PERDA DE MASSA OBTIDA PELA ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	71
FIGURA 4.10 – CÂMARA REVERBERANTE EM ESCALA REDUZIDA 1:5	73

FIGURA 4.11 – MONTAGEM DO PAINEL DE BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS COM A VEDAÇÃO DAS JUNTAS.....	73
FIGURA 4.12 – PAINEL DE BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS COM A VEDAÇÃO DAS LATERAIS PRONTOS PARA OBTENÇÃO DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO	73
FIGURA 4.13 – GRÁFICO DOS COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DE SABINE DOS BLOCOS NA ESCALA REAL	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DE ALGUNS MATERIAIS	29
TABELA 3.1 – UMIDADE FINAL DA MASSA PASTOSA	42
TABELA 3.2 – VALORES DE ϕ EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE DE BLOCOS	51
TABELA 3.3 – RELAÇÕES ENTRE DIMENSÕES (LX , LY E LZ) PARA UMA SALA RETANGULAR, SEGUNDO A NORMA ISO 3741:1994	55
TABELA 4.1 – CARACTERÍSTICAS DO LODO MISTO	56
TABELA 4.2 – CONCENTRAÇÃO DE METAIS NO LODO MISTO.....	56
TABELA 4.3 – CARACTERÍSTICAS TÓXICAS DO LODO MISTO (ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO)	57
TABELA 4.4 – CARACTERÍSTICAS TÓXICAS DO LODO MISTO (ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO) .	58
TABELA 4.5 – CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA CERÂMICA.....	59
TABELA 4.6 – CONCENTRAÇÃO DE METAIS NA ARGILA CERÂMICA	60
TABELA 4.7 – DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS E LIMITES DE CONSISTÊNCIA DA ARGILA CERÂMICA.....	60
TABELA 4.8 – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (N=20).....	62
TABELA 4.9 – VARIÂNCIA DOS RESULTADOS DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (N=20)	62
TABELA 4.10 – DESVIO PADRÃO DOS RESULTADOS DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (N=20).....	62
TABELA 4.11 – RETRAÇÃO, EM PORCENTAGEM, NAS AMOSTRAS DE BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (N=20).....	63
TABELA 4.12 – ÍNDICE DE ABSORÇÃO MÉDIO DE ÁGUA NOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (N=20).....	65
TABELA 4.13 – RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS À COMPRESSÃO NOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (N=20).....	67

TABELA 4.14 – CARACTERÍSTICAS TÓXICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO).....	68
TABELA 4.15 – CARACTERÍSTICAS TÓXICAS DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO).....	68
TABELA 4.16 – CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA (ARGILA + 20% DE LODO).....	72
TABELA 4.17 – TEMPOS DE REVERBERAÇÃO OBTIDOS NA CÂMARA REVERBERANTE	74
TABELA 4.18 – COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DE SABINE EM ESCALA REDUZIDA 1:5	75
TABELA 4.19 – COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DE SABINE DOS BLOCOS EM ESCALA REAL	76

NOMENCLATURA

A – Amplitude

A_b – Área bruta

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica

c – velocidade do som no ar

C – comprimento

CAM – Central de Análises Avançadas de Materiais

Cau – Caulinita

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

COCl_2 – Fosgênio

COMCAP – Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa

D – Desvio em relação ao esquadro

dB - Decibel

DRX – Difração de Raios-X

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

F – Planeza das faces

f – frequência

f_{bk} – Resistência característica à compressão

f_m – frequência do modelo em escala

f_r – frequência real

Gm – Gmelinite

H – Altura

Her – Hercynite

Hm – Hematita

Hz – Hertz

IAA – Índice de absorção médio de água

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

IP – Índice de plasticidade

Ir – Intensidade reverberante

ISO – International Organization for Standardization

kg – Quilograma
kHz – Quilohertz
L – Largura
LACAF – Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada
LL – Limite de liquidez
LP – Limite de plasticidade
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A
mm – milímetro
mmHg – Milímetro de mercúrio
M.O. – Matéria orgânica
MPa – Megapascal
MPa/s – Megapascal/segundo
NPS – Nível de Pressão Sonora
Ms – Massa seca
Mu – Massa úmida
NBR – Norma Brasileira
NPS – Nível de Pressão Sonora
PET – Polietileno Tereftalato
pH – Potencial hidrogeniônico
PR – Paraná
QZ – Quartzo
Rut – Rutilo
SAI – Silicato de Alumínio
SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná
Si ou SiO₂– Sílica
SPL – Sound Pressure Level
STA – Análise Térmica Simultânea
S/E – Técnica de Solidificação/Estabilização
T – Período
TGA – Análise Termogravimétrica
TR ou T₆₀– Tempo de Reverberação
UEM – Universidade Estadual de Maringá
V- volume do gargalo

λ – lambda – comprimento de onda

μm – Micrometro

1 INTRODUÇÃO

No último século, foi constatado um crescimento urbano intenso na maioria das cidades brasileiras. Paralelamente a este crescimento surgiram problemas de cunho social e ambiental, tal como o crescente processo de geração de resíduos, principalmente industriais. Com o desenvolvimento tecnológico, o número de indústrias vem crescendo a cada dia e com elas a quantidade de efluentes e resíduos sólidos industriais também. Geralmente os efluentes não são tratados adequadamente, e com relação aos resíduos industriais, estes na maioria das vezes têm destino final inadequado e ficam expostos ao ambiente, contaminando-o. Este problema é comum em várias partes do Brasil e do mundo.

Atualmente, com as novas leis de proteção ao ambiente, e a crescente e progressiva implantação de novas e exigentes diretrizes na gestão de resíduos, especialmente os lodos gerados nos tratamentos dos efluentes, faz-se necessário desenvolver métodos alternativos e eficazes em substituição a simples, porém onerosa, disposição final destes em aterros industriais.

Com relação ao destino final adequado do lodo, estudos vêm sendo desenvolvidos no sentido de sua valorização, com resíduos de diferentes naturezas, utilizando-os como matéria-prima secundária para produção de um material utilizável, com características que atendam os parâmetros exigidos e sem prejuízo ao ambiente.

A reutilização de resíduos provenientes de diferentes processos industriais como novos materiais, para a construção civil, tem sido cada vez mais desenvolvida em diferentes linhas de pesquisa: reaproveitamento de cinzas (carvão, casca de arroz), areia de fundição, lodos de estações de tratamentos, rejeito da produção do ácido fosfórico, entulhos da construção civil, rejeitos de minas de carvão, dentre outros, com uma abordagem voltada ao desempenho estrutural do novo produto (CAVALCANTE e CHERIAF, 1996).

Existem determinados tipos de tratamentos ou disposição final que podem ser empregados, para que se tenha uma destinação final segura de resíduos sólidos, entre eles destacam-se: secagem e desidratação de lodos, incineração, disposição em aterros industriais, “landfarming”, compostagem e solidificação/estabilização.

Para o caso dos lodos obtidos em lavanderias industriais, o tratamento que envolve a solidificação/estabilização, que consiste em um pré-tratamento que gera uma massa sólida monolítica de resíduo tratado, por meio do qual os constituintes perigosos de um resíduo são transformados e mantidos em formas menos solúveis ou menos tóxicas, apresenta-se como alternativa viável, por ser capaz de reter os contaminantes em uma matriz sólida.

Um dos materiais cerâmicos que atualmente vêm sendo bastante estudados e que atuam como barreira acústica, são os blocos cerâmicos acústicos, chamados de ressoadores de Helmholtz. Segundo Santos (2005) o ressoador de Helmholtz, é um sistema absorvedor baseado na propriedade de dissipar energia em torno de uma frequência de ressonância, a qual é função das características geométricas do sistema. Assim, surge a possibilidade de avaliar a incorporação de lodo proveniente de lavanderias industriais têxteis em blocos cerâmicos acústicos.

Outro problema ambiental comum nas metrópoles brasileiras é o ruído gerado, principalmente pelo tráfego de veículos no meio urbano, o qual é capaz de provocar efeitos danosos à saúde da população. Segundo Lisot (2008) é interessante realizar intervenções no ambiente, com o intuito de diminuir a intensidade dos sons que atingem o receptor. A utilização de barreiras acústicas tem se difundido como uma alternativa para o controle de ruído.

Alguns pesquisadores (LISOT, 2008; BISTAFA, 2006; SANTOS, 2005; SOUZA, ALMEIDA e BRAGANÇA 2006), acreditam que uma das formas de melhorar o desempenho de barreiras acústicas é utilizar ressoadores de Helmholtz na sua execução.

Em continuidade a alguns estudos que identificaram a possibilidade da incorporação de resíduos em materiais cerâmicos, e com o objetivo de aproveitar o lodo oriundo de lavanderias industriais têxteis, o enfoque deste estudo será analisar a viabilidade da incorporação, por meio do processo de Solidificação/Estabilização, do lodo produzido em lavanderias industriais têxteis da região de Maringá, Estado do Paraná, em blocos cerâmicos acústicos (ressoadores de Helmholtz).

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar a viabilidade técnica e ambiental da incorporação do lodo de lavanderias industriais têxteis, por meio do processo de Solidificação/Estabilização (S/E), em blocos cerâmicos acústicos (ressoadores de Helmholtz), avaliando o seu desempenho em câmara reverberante.

1.1.1 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar a argila por meio dos seguintes parâmetros: pH, umidade, matéria orgânica, massa específica, distribuição do tamanho do diâmetro das partículas (granulometria), limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade,

- análise química (metais), difração de raios-X (DRX) e análise termogravimétrica (TGA);
- ✓ Caracterizar o lodo misto das lavanderias industriais por meio dos seguintes parâmetros: pH, massa específica, umidade, matéria orgânica, análise termogravimétrica (TGA), difração de raios-X (DRX), análise química (metais), lixiviação e solubilização;
 - ✓ Produzir blocos cerâmicos acústicos em Extrusora de laboratório com incorporação de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 35% de lodo misto de lavanderias industriais, além de blocos cerâmicos controle (fabricado somente com argila cerâmica);
 - ✓ Avaliar as propriedades superficiais dos blocos cerâmicos acústicos, por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
 - ✓ Caracterizar os blocos cerâmicos acústicos quanto à resistência característica à compressão, absorção de água, retração linear, características geométricas, difração de raios-X (DRX), lixiviação e solubilização de metais, e assim definir a máxima incorporação de lodo, aos blocos cerâmicos;
 - ✓ Caracterizar a mistura lodo/argila que for considerada a formulação máxima recomendada após os ensaios físicos, mecânicos e químicos por meio dos seguintes parâmetros: pH, massa específica, umidade e matéria orgânica;
 - ✓ Determinar em câmara reverberante de laboratório os coeficientes de absorção sonora de Sabine dos blocos cerâmicos acústicos controle e dos blocos produzidos com a máxima incorporação de lodo recomendada.

2 REVISÃO DA LITERATURA

É objeto da revisão, apresentar de forma objetiva informações tais como, conceito e classificação de resíduos sólidos, evidenciando principalmente o resíduo sólido (lodo), gerado nas etapas de tratamento de efluentes de lavanderias industriais. Assim, é necessário apresentar informações a respeito das indústrias têxteis, especificando as lavanderias industriais, descrevendo as principais atividades ou processos que são desenvolvidos nestes empreendimentos, e apresentam informações a respeito da geração do lodo.

São apresentadas as principais formas de tratamento/reaproveitamento ou disposição final destes resíduos sólidos, e como os mesmos estão sendo estudados e pesquisados para serem reaproveitados como matéria-prima secundária (subproduto), para a fabricação de materiais de construção civil.

Além disso, como o enfoque do estudo é o processo de estabilização/solidificação do lodo de lavanderias industriais em blocos cerâmicos acústicos (ressoadores de Helmholtz), são discutidos nos itens seguintes, conceitos de acústica, suas propriedades, absorção sonora de materiais, além de informações relacionadas aos ressoadores de Helmholtz.

2.1 RESÍDUO SÓLIDO: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Denomina-se resíduo sólido, segundo a NBR 10004:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável 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 pessoas físicas e jurídicas no Brasil estão sujeitas às leis e regulamentações ambientais nas esferas federal, estadual e municipal. A Lei Federal nº. 9.605 de 1998, “Lei de Crimes Ambientais”, regulamentada pelo Decreto Federal nº. 3.179, de 21 de setembro de 1999, trouxe um impulso adicional à proteção jurídica do ambiente, estabelecendo sérias penalidades contra as pessoas físicas e jurídicas que cometerem violações ambientais, sendo incluídos os impactos causados pelo gerenciamento inadequado de resíduos sólidos.

Uma importante forma de classificar o resíduo é quanto à origem, ou seja, domiciliar, comercial, de serviços de saúde, público (varrição e feiras livres, portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários), industriais, agrícolas, construção e demolição e entulhos. É fundamental distinguir os resíduos sólidos industriais de outros tipos de resíduos, por apresentarem características próprias de segregação, transporte interno, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte externo, tratamento e reaproveitamento ou disposição final.

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 (NBR 10004:2004).

A NBR 10004:2004, da ABNT, classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Além da NBR 10004, as normas NBR 10005 Lixiviação de Resíduos – Procedimento, NBR 10006 Solubilização de Resíduos – Procedimento, NBR 10007 Amostragem de Resíduos – Procedimento, também são utilizadas para a padronização desta classificação. Para auxiliar a classificação de um resíduo em uma das classes citadas a seguir, deve-se consultar as listagens de resíduos e de substâncias com padrões de concentração de poluentes, anexas à NBR 10004:2004 (AMPESSAN, 2004). Segundo a mesma norma, os resíduos são classificados em:

a) **Classe I – Perigosos:** são aqueles que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada, ou seja, está relacionado com a periculosidade. Os resíduos perigosos devem apresentar pelo menos uma das características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, ou se apresentarem constantes nos anexos A ou B da NBR 10004:2004. São exemplos os solventes usados, borra ácida de processos de refinamentos de óleos, resíduos e lodo de tinta de pintura industrial entre outros.

b) **Classe II – Não perigosos:**

– **Classe II A – Não inertes:** são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I e nem de classe II-B, podendo ter propriedades como combustividade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

– **Classe II B – Inertes:** são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10007:2004 da ABNT, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10006:2004 da ABNT, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados à concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor,

turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10004:2004. Exemplo: Tijolos, vidros, certos tipos de plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente, entre outros.

O fluxograma da Figura 2.1 apresenta a metodologia a ser adotada na classificação, conforme NBR 10004 (ABNT, 2004), de um resíduo sólido.

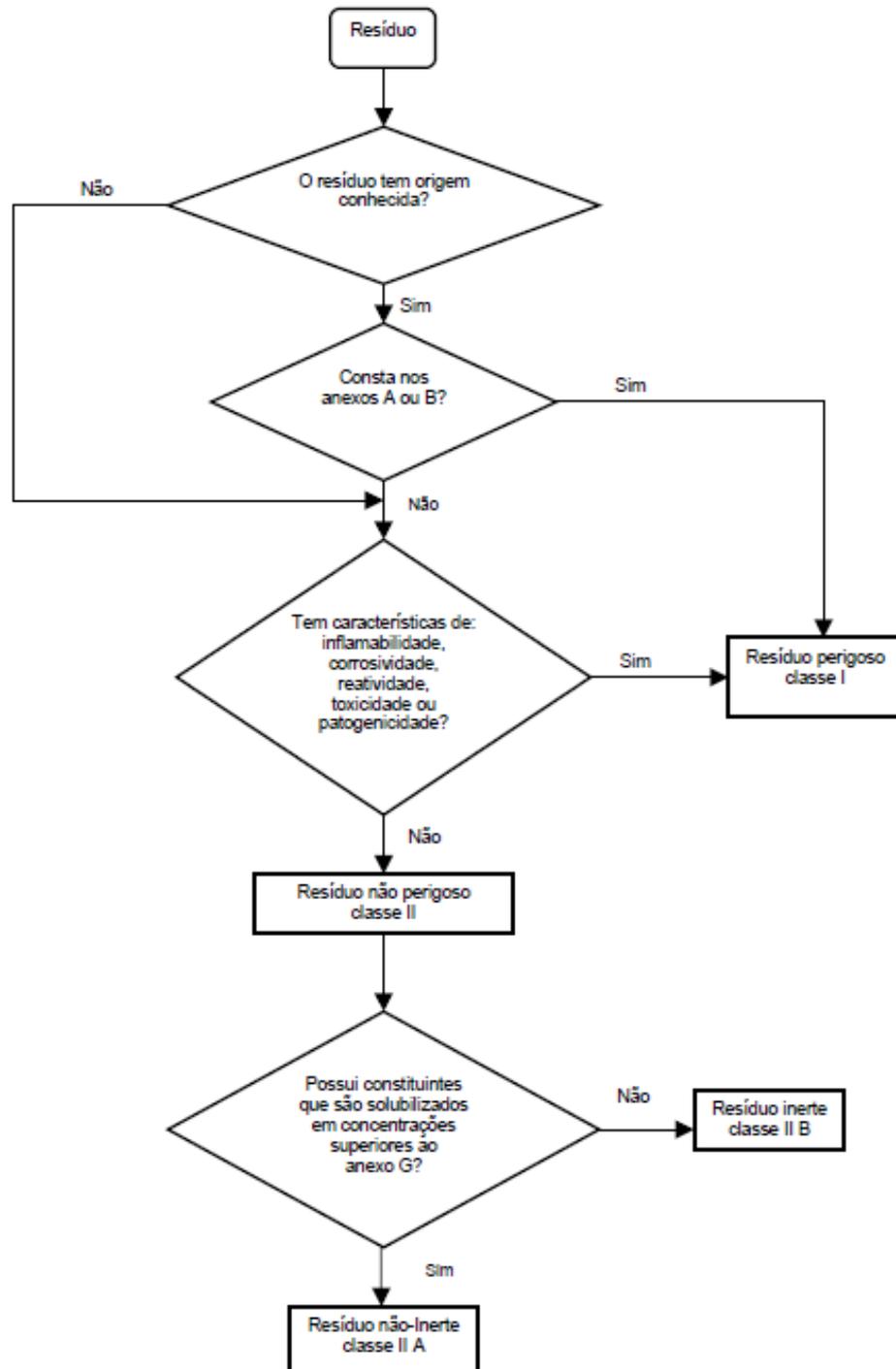


Figura 2.1 – Fluxograma de caracterização e classificação de resíduos sólidos

Fonte: NBR 10004:2004

Segundo Oliveira et al. (2003) de maneira geral, esta classificação se dá a partir das análises físico-químicas, sobre o extrato lixiviado obtido a partir da amostra bruta do resíduo. As concentrações dos elementos detectados nos extratos lixiviados são então comparadas com os limites máximos estabelecidos nas listagens constantes da NBR 10004:2004, da ABNT.

2.1.1 Resíduos sólidos industriais

A grande quantidade de resíduos sólidos gerados por alguns setores produtivos tem levado pesquisadores a buscar soluções adequadas, com o intuito de atender as questões técnicas, econômicas, sociais e ambientais. O amplo consumo de matérias-primas pelas indústrias brasileiras para os mais diversos usos, associados aos princípios do desenvolvimento sustentável, conduz às pesquisas sobre reciclagem dos materiais descartados pelas indústrias, com a finalidade do seu emprego racional e seguro, em novos produtos ou em reaproveitamento (SCHEUNEMANN, 2005).

Segundo D'Almeida e Vilhena (2000) os resíduos industriais, são aqueles originados nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como metalúrgica, química, petroquímica, alimentícia etc. O resíduo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros e cerâmicas etc. Nesta categoria, inclui-se a grande maioria dos resíduos considerados tóxicos, ou seja, classe I.

De acordo com Prim (1998) para caracterizar um resíduo sólido industrial, o primeiro passo é saber quais as operações geradoras dos resíduos nas diversas etapas do processamento industrial, pois, dessa forma, se poderão obter informações tais como: produtos utilizados no processo, quantidades, características físicas, químicas e biológicas, entre outras. Estas auxiliarão na caracterização do resíduo final, como em sua classificação e escolha do tipo de tratamento.

A maior parte do lixo gerado pelas atividades industriais é tecnicamente conhecido como resíduo, e os geradores são responsáveis e obrigados por cuidar de todo o seu gerenciamento. A indústria é responsável por grande quantidade de resíduo – sobras de carvão mineral, refugos da indústria metalúrgica, resíduo químico, gás e fumaça lançados pelas chaminés das fábricas, lodos provenientes de estações industriais e cinzas de caldeiras.

Os lodos provenientes de estações industriais variam de acordo com o tipo de atividade desenvolvida em cada grupo específico de atividade industrial. Cada indústria constitui-se num caso distinto, com despejos diferentes, e conseqüentemente, lodos com características distintas. As frações sólidas dos lodos variam com a natureza do efluente

tratado, com as quantidades e tipos de aditivos utilizados, e com as reações que ocorrem durante o tratamento. Assim, periodicamente, as indústrias devem realizar a classificação dos seus lodos (ROSA, 2004).

A pesquisa para a utilização de materiais considerados resíduos, pode classificá-los dentro do processo produtivo, como subprodutos industriais ou até promover a sua reutilização permitindo assim minimizar a construção de mais aterros industriais, como consequência, poder-se-a otimizar a relação Energia - Ambiente - Materiais (Recursos). A produção de resíduos pode representar, além de problemas ambientais, uma perda de matéria e energia. Esta estratégia permite, em geral, a diminuição de custos de gestão e tratamento de resíduos; a redução de riscos de contaminação, acidentes e emergências; e reduz os custos de produção devido à melhor gestão dos materiais e eficiência do processo (SCHEUNEMANN, 2005).

Com a progressiva implantação de novas diretrizes na gestão de resíduos industriais e em busca de desenvolvimento sustentável, faz-se necessário aplicar alternativas eficazes e econômicas para o (re) aproveitamento dos resíduos industriais. Uma das indústrias que geram grandes quantidades de resíduos são as indústrias têxteis, em especial as lavanderias industriais têxteis. Um dos principais e mais problemáticos resíduos gerados nestas indústrias são os lodos provenientes dos sistemas de tratamento dos efluentes.

Nos itens seguintes serão abordadas informações referentes às indústrias têxteis, especialmente às lavanderias industriais, os efluentes e os lodos gerados nestas indústrias, os principais tratamentos e destinos finais dos lodos e o potencial de reaproveitamento dos mesmos em materiais da construção civil.

2.2 INDÚSTRIA TÊXTIL

A cadeia produtiva têxtil – reunindo fiação, tecelagem, malharia, acabamento/beneficiamento e confecção – passou por muitas transformações recentes, destacando-se especialmente aquelas relacionadas, não apenas com as mudanças tecnológicas, que permitiram expressivos incrementos de produtividade, mas também com a crescente importância do comércio interblocos (GORINI, 2000).

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 na década de 80 do século XX, supria 60% da demanda interna (OLIVEIRA, 1980).

A indústria têxtil encolheu em número de unidades industriais (declínio acumulado de 25% entre 1990 e 1999) e empregos (declínio acumulado de 67% no mesmo período). Em contraste, o número de confecções aumentou em 13% (taxa acumulada), passando a gerar menos empregos (declínio acumulado de 9% no período considerado). Esses números indicam, por um lado, a grande concentração produtiva da indústria têxtil, a qual ficou mais intensiva em capital, e, por outro lado, a maior pulverização das confecções, com aumento provável da informalidade (GORINI, 2000).

Na indústria têxtil tem-se diferentes tipos de processos, devido à grande variedade de tipos de fibras a serem industrializadas. Estas têm características próprias, assim necessitam de processos distintos para o acabamento (principalmente o tingimento), o que as faz gerar efluentes de características diferentes, ou seja, para cada cor impregnada à fibra pode-se ter efluentes com características distintas (BARBOSA, 1999).

Segundo Bitencourt (2002) em termos de fibras utilizadas, as indústrias têxteis são agrupadas em três categorias principais:

- Fibras naturais como algodão e lã
- Fibras artificiais como rayon (viscose) e acetato
- Fibras sintéticas como polyester e nylon

As fibras artificiais são produtos de modificações obtidas a partir da matéria-prima natural orgânica (como o algodão e a lã). As fibras sintéticas são produzidas a partir de poliamidas, poliacrílicos, poliéster, entre outras (BRAILE e CAVALCANTI, 1993).

As indústrias têxteis se caracterizam pela necessidade de utilização de grandes quantidades de água, corantes e produtos químicos, ao longo de uma complexa cadeia produtiva. Isso acarreta a geração de grande quantidade de efluentes altamente poluidores e também de resíduos semi-sólidos (lodo), contendo elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos ao homem e ao ambiente (HASSEMER, 2006).

De acordo com Bitencourt (2002) um tipo especial de indústria do setor têxtil, que tem surgido recentemente, são as lavanderias industriais que realizam etapas de tingimento e lavagem de peças de vestuários, da própria produção ou de terceiros. Elas então se caracterizam por pequenas empresas, encarregadas de tratamento finais de roupas e confecções. Estes tratamentos utilizam uma grande quantidade de produtos, como corantes e detergentes, no beneficiamento das peças, gerando efluentes que necessitam de tratamento antes do aporte ao ambiente.

2.2.1 Lavanderia industrial têxtil

Os processos realizados em lavanderias industriais têxteis, que realizam o processo de tingimento e lavagem, podem variar de uma lavanderia para outra, em relação a tipos de corante e produtos utilizados nas etapas de processamento de peças. A respeito disto, a seguir serão descritos de maneira geral os processos realizados em uma lavanderia industrial.

Primeiramente ao chegarem às lavanderias, as peças a serem beneficiadas são classificadas conforme sua solidez, indicando o tipo de engomagem sofrida no processamento. A pré-umectação é uma etapa fundamental para as etapas seguintes, pois objetiva facilitar a absorção de água do banho por parte dos tecidos. Outra etapa é a desengomagem que tem a finalidade de eliminar a goma que é geralmente aplicada aos fios de urdume. Após esta etapa tem-se especificamente a lavagem ou o tingimento, para posteriormente as peças serem centrifugadas, secas, passadas e embaladas.

Segundo Braile e 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 o 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. A indústria têxtil exige atenção quanto aos seus efluentes, devido à variedade e à quantidade de corantes utilizados na etapa de tingimento.

2.2.1.1 Efluente gerado em lavanderias industriais têxteis

A indústria têxtil é responsável pela geração de grande quantidade de 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 tem 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 et al., 2002).

O efluente das lavanderias industriais têxteis contém muitas impurezas (elementos físicos, químicos e biológicos), removidas das roupas e as substâncias que são adicionadas na lavagem das mesmas (NAVACHI, 2002).

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

Os efluentes líquidos gerados passam por uma série de tratamentos físicos, biológicos e químicos, para que o efluente final do tratamento apresente características determinadas pelos órgãos ambientais, para que se possa lançá-los em corpos d'água. Nestas etapas de tratamento do efluente líquido dá-se a formação do lodo. A Figura 2.2 apresenta o caminho percorrido pelo efluente gerado nas lavanderias industriais até a formação do lodo.

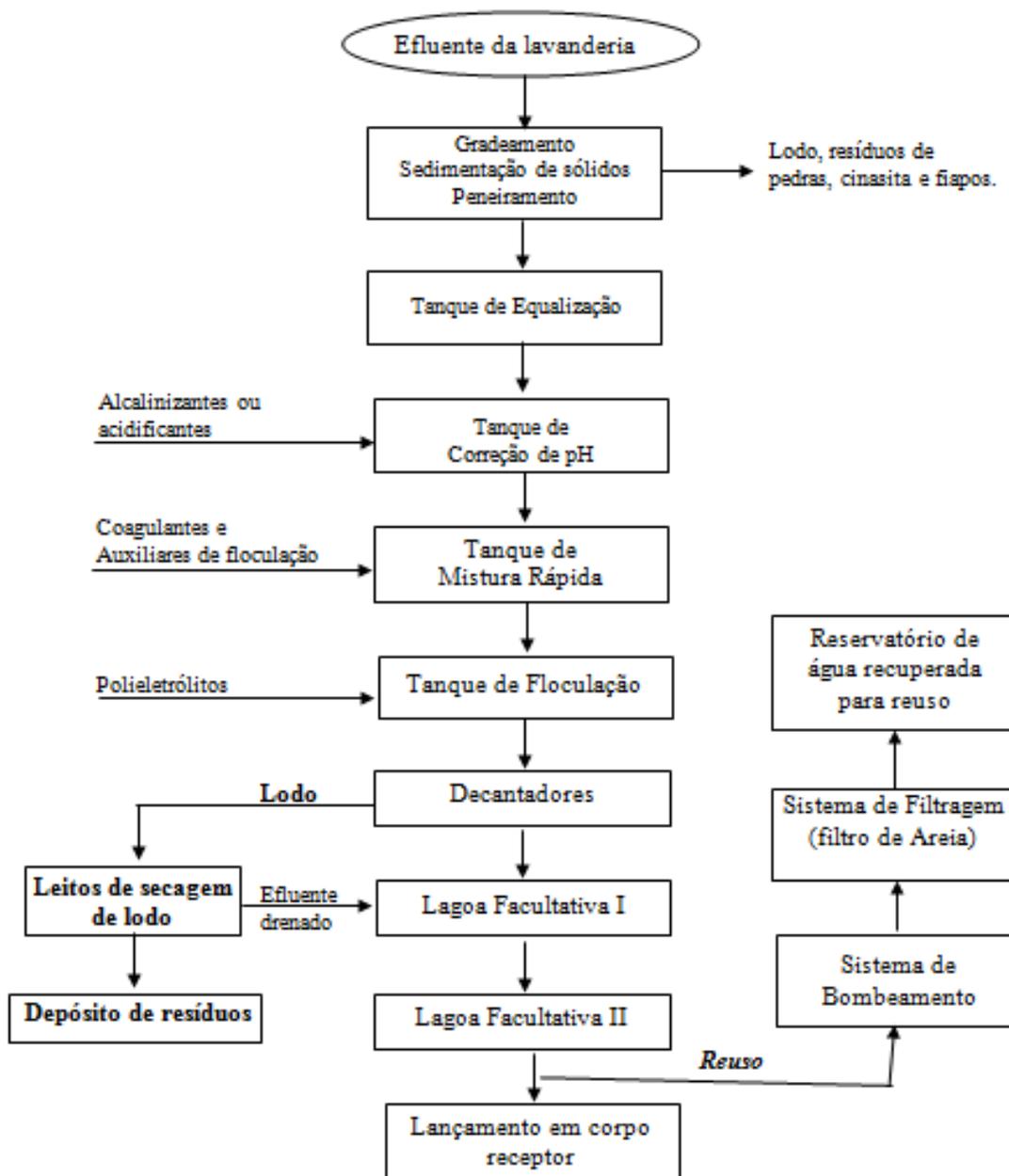


Figura 2.2 – Fluxograma geral do processo de tratamento do efluente de uma lavanderia industrial têxtil

Com relação ao processo de tratamento, segundo Bitencourt (2002), as etapas de gradeamento, peneiramento, separação de areia, são todas etapas físicas, nas quais 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 ocorre a remoção de turbidez e eliminação de parte da carga orgânica, para isto faz-se a decantação dos sólidos suspensos presentes no efluente. Já a cor que é um sólido solúvel ou coloidal é retirada na etapa de coagulação/floculação e posterior decantação.

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 solúvel (BITENCOURT, 2002).

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 e CAVALCANTI, 1993).

Segundo Kunz *et al.* (2002) as técnicas de tratamento fundamentadas em processos de coagulação, seguidas de separação por flotação ou sedimentação, apresentam uma elevada eficiência na remoção de material sólido coloidal ou de pequeno tamanho.

Os processos biológicos utilizados com maior frequência 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 (KUNZ *et al.*, 2002)

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.

As lavanderias industriais são fontes poluidoras, geradoras de efluentes líquidos. Um dos principais problemas nos tratamentos de águas residuárias (efluentes líquidos) é a geração de lodo (quantidade e disposição final). Nestes lodos há a presença de metais pesados e outros componentes tóxicos. A poluição do ambiente pelos metais pesados é extremamente perigosa porque estes materiais são ambientalmente persistentes e tóxicos.

2.2.1.2 Lodo gerado no processo de tratamento do efluente de lavanderias industriais têxteis

O resíduo sólido (lodo) é um produto semi-sólido que tem origem nos tratamentos primários e secundários das ETEs de águas residuárias. Os lodos primários são aqueles obtidos naturalmente por sedimentação natural, ou flotação de parte do material sólido em suspensão, sem utilização de produtos químicos. Na classe dos lodos químicos estão aqueles cuja obtenção se dá com auxílio de produtos químicos, que podem ser realizados no tratamento primário ou terciário. Os lodos secundários são obtidos nos tratamentos biológicos, os quais podem ser aeróbio ou anaeróbio (BRAILE e CAVALCANTI, 1979).

O lodo de lavanderias industriais 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 (BITENCOURT, 2002). De acordo com Prim (1998) o mesmo lodo é rico em metais pesados e outros componentes tóxicos. A poluição do metal pesado é extremamente perigosa pela toxicidade e persistência no ambiente.

A quantidade de lodo gerado está relacionada com a eficiência do tratamento físico-químico 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).

Segundo Prim (1998) encontrar soluções efetivas e seguras para resíduos semi-sólidos, que contém metais pesados, é sempre um desafio para as indústrias, devido em parte, ao custo efetivo das alternativas de tratamento disponíveis.

2.3 TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DO LODO

De acordo com a CETESB (1993) o tratamento de resíduos é definido como qualquer processo que altere suas características, composição ou propriedades de maneira a tornar mais aceitável sua disposição final.

As principais alternativas mais utilizadas como destinação final do lodo industrial são (CETESB, 1993; LORA, 2000):

- secagem e desidratação;
- aterro industrial;
- incineração;

- solidificação/estabilização;
- compostagem e disposição em solos agrícolas;

A seguir estão citados e explicados os tipos de tratamento e destinação final de resíduos sólidos industriais mais utilizados frequentemente.

2.3.1 Secagem e desidratação

A secagem tem como objetivo inicial evaporar a água presente no resíduo sólido. Os constituintes líquidos evaporam como consequência 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).

Segundo CETESB (1993) os métodos mais comumente utilizados para secagem e desidratação de lodos são: centrifugação, filtragem em filtros-prensa de placas, filtragem em filtros-prensa em cinto, filtragem a vácuo e leitos de secagem.

Os equipamentos mecânicos de filtração funcionam simplificadamente pela retenção das partículas sólidas em um anteparo perfurado colocado contra um fluxo de resíduo artificialmente mantido pela aplicação de uma força externa.

Já nos leitos de secagem a desidratação do lodo se dá por evaporação e pela passagem do líquido através de um leito filtrante.

2.3.2 Aterro Industrial

O aterro é uma forma de disposição adequada de resíduos no solo que, fundamentada em critérios de engenharia, e normas operacionais específicas, garante um confinamento seguro em termos de poluição ambiental e proteção à saúde pública. São áreas planejadas com terreno impermeabilizado, para evitar o escoamento (subsuperficial e subterrâneo) do chorume. Este líquido é produzido pela infiltração da água das chuvas e pela degradação de compostos que percolam através da massa de lixo aterrada, carreando materiais dissolvidos ou suspensos. Devido às suas características, o chorume deve ser tratado adequadamente antes de ser lançado no ambiente, evitando-se assim maiores riscos de contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais, com sérias consequências para a saúde pública. Os gases liberados no aterro são captados para evitar a poluição do ar, em alguns casos estes são utilizados para a produção de energia elétrica, e o “lixo” é coberto adequadamente, impedindo a sua exposição.

São passíveis de disposição em aterro os resíduos cujos poluentes neles contidos podem sofrer alguma forma de atenuação no solo, seja por processo de degradação, seja por processos de retenção (filtração, adsorção, troca iônica etc.). Os resíduos inflamáveis, reativos, oleosos, orgânicos persistentes ou que contenham líquidos livres não devem ser dispostos em aterros (CETESB, 1993; MENDES, 1998).

Os resíduos com baixo teor de umidade são os mais apropriados para se dispor em aterros industriais. Matérias com alto teor de umidade criam problemas pela formação de percolados devido à liberação da fase líquida. Lodos industriais apresentam alto teor de umidade sendo necessário secá-los antes de enviá-los ao aterro (ROSA, 2004).

Os aterros industriais apresentam algumas restrições: constituem um processo extensivo que exige grande área para implantação, e não resolvem necessariamente o problema de toxidez dos resíduos que continuam potencialmente perigosos, além de terem um custo alto para indústria geradora de lodo (NEIL et al., 1997; MENDES, 1998).

2.3.3 Incineração

A incineração é um processo de combustão controlada (em instalação própria), que permite a redução em volume e em peso, dos resíduos sólidos, em cerca de 90 e 60%, respectivamente. Os resíduos são transformados em gases, calor e materiais inertes.

As características dos resíduos sólidos, e seu comportamento durante a combustão determinam como devem ser misturados, estocados e introduzidos na zona de queima. Alguns líquidos, com baixo ponto de fulgor, serão facilmente destruídos, enquanto outros, incapazes de manter a combustão, deverão ser introduzidos através de uma corrente de gás quente, ou aspergidos diretamente sobre a chama. Neste caso, pode ocorrer um fenômeno químico chamado craqueamento, no qual novas e indesejáveis substâncias podem ser formadas. Por exemplo, se o resíduo contiver certos compostos orgânicos de cloro, há risco da formação de fosgênio (COCl_2), que é um gás venenoso. Para evitar este tipo de problema é necessário manter a temperatura de combustão na faixa de 1.200 a 1.400 °C, e o tempo de retenção entre 0,2 a 0,5 segundos, ou em alguns casos de até 2 segundos (CETESB, 1993).

A incineração de resíduos contendo enxofre, flúor, cloro, bromo e iodo, resulta num efluente gasoso, cuja composição são encontrados estes poluentes. A forma mais comum de eliminá-los é fazer com que os gases da combustão passem através de uma torre, onde são lavados em contracorrente. O efluente líquido resultante é recolhido na parte inferior da torre e deve ser tratado para posterior descarte adequado (ROSA, 2004).

Resumindo, a incineração é uma das melhores técnicas de tratamento de resíduos, permitindo aproveitar a energia térmica produzida. Porém, altos custos são necessários na construção de um incinerador e não soluciona o problema integralmente, havendo necessidade de se providenciar um destino final adequado para as cinzas e o lodo resultante do tratamento de gases, tornando-se um processo caro, tanto para a aquisição de equipamento (instalação), quanto à manutenção (LAPA et al., 2002 apud ROSA, 2004; BEBIN, 1997 apud ROSA, 2004; CETESB, 1993).

2.3.4 Solidificação/Estabilização

A solidificação é uma forma de tratamento que gera uma massa sólida de resíduo tratado, melhorando tanto a sua integridade estrutural, quanto as suas características físicas, tornando assim mais fácil seu manuseio e transporte. A estabilização, por sua vez, consiste em um 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 (CETESB, 1993).

As tecnologias de estabilização e solidificação têm sido utilizadas há décadas, como etapa final de polimento de rejeitos industriais. 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. 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 (XISTOQUÍMICA, 2008).

Portanto, a solidificação/estabilização tem como objetivos: melhorar as características físicas e de manuseio dos resíduos, diminuir a área superficial por meio da qual possa ocorrer a transferência ou perda de poluentes, limitar a solubilidade ou destoxificar quaisquer constituintes perigosos contidos no resíduo (CETESB, 1993).

Os métodos de solidificação/estabilização se dividem em sete tipos diferentes:

- Técnicas baseadas em termoplásticos;
- Técnicas que utilizam polímeros orgânicos;
- Técnicas de auto-solidificação;
- Técnicas de vitrificação;
- Técnicas de encapsulamento;
- Técnicas baseadas em materiais pozolânicos;

- Técnicas baseadas em cimento.

Como este tema é uma das partes centrais deste trabalho, será desenvolvida nos próximos itens esta temática, de forma mais aprofundada.

2.3.5 Outras formas de tratamento ou destinação final de lodo industrial

“Landfarming” são sistemas de tratamento de resíduos que, por meio das propriedades físicas e químicas do solo, e da intensa atividade microbiana existente neste meio, promovem a biodegradação, a destoxificação, a transformação e a imobilização dos constituintes dos resíduos tratados, minimizando os riscos de contaminação ambiental (CETESB, 1993).

O sistema Landfarming não requer barreiras físicas, com membranas impermeáveis para isolar os constituintes perigosos. Isso é possível, pois o solo funciona como um atenuador dos processos de migração e lixiviação dos constituintes perigosos.

Esta técnica consiste na disposição controlada de resíduos no solo, buscando facilitar o acesso de microorganismos do solo à camada oleosa e o processo de revolvimento objetivando a aeração da mistura.

O Landfarming é um processo de tratamento que ultimamente vem sendo menos utilizado, sendo substituído gradativamente por métodos alternativos e eficazes com baixo custo de implantação, como o método de biopilhas, por exemplo.

Segundo BLUEPOiNT Ambiental (2010) a tecnologia de biopilhas envolve a construção de células, ou pilhas de solo contaminado, de forma a estimular a atividade microbiana aeróbica dentro da pilha, por meio de uma aeração eficiente. A atividade microbiana pode ser aumentada pela adição de umidade e nutrientes, como nitrogênio e fósforo. As bactérias degradam os hidrocarbonetos adsorvidos nas partículas de solo, reduzindo assim suas concentrações. Tipicamente, as biopilhas são construídas sobre uma base impermeável para reduzir o potencial de migração dos lixiviados para o ambiente subsuperficial. Uma malha de dutos perfurados instalados na base da pilha e conectados a um compressor garante a perfeita aeração do conjunto. Em alguns casos, constrói-se um sistema de coleta para o lixiviado, principalmente quando do uso de sistema de adição de umidade. As pilhas são geralmente, recobertas por plástico para evitar a liberação de contaminantes para a atmosfera bem como para protegê-la dos intemperismos.

Outra forma de tratamento que merece destaque é a compostagem que é um processo de degradação aeróbia, na qual o material orgânico se decompõe e/ou se transforma sob a ação de microrganismos. Esse processo produz dióxido de carbono e água, além de um produto orgânico estável, rico em compostos húmicos. Quando o material orgânico do lodo se

decomposição, o processo de compostagem eleva a temperatura para uma faixa de 50-70 °C, e a maioria dos microrganismos patogênicos são destruídos. Após a compostagem, o lodo pode ser usado como condicionador do solo, aplicado na agricultura ou horticultura, ou para outra disposição final, dependendo é claro da sua classificação (SANEPAR, 1999).

Os microrganismos aeróbios, que utilizam oxigênio, alimentam-se da matéria orgânica e desenvolvem tecidos celulares através do nitrogênio, fósforo, carbono e outros nutrientes essenciais. A maior parte do carbono serve como fonte de energia aos microrganismos e é liberada (através da respiração), sob a forma de dióxido de carbono. O carbono orgânico pode ter funções de fonte de energia e carbono celular, logo é sempre requerido mais carbono do que nitrogênio (ROSA, 2004).

O processo químico de compostagem pode ser simplificado representado pelo esquema mostrado na Figura 2.3.

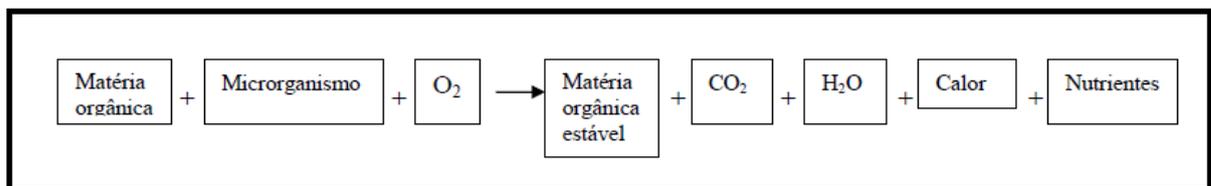


Figura 2.3 – Esquema simplificado do processo químico de compostagem.

Fonte: ROSA, 2004

À medida que o processo de compostagem se inicia, há proliferação de populações complexas de diversos grupos de microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos), que vão se sucedendo de acordo com as características do meio. De acordo com suas temperaturas ótimas, estes microrganismos são classificados em psicrófilos (0 – 20° C), mesófilos (15 – 43° C) e termofílicos (40 – 85° C) (EMBRAPA, 2000).

Baseada na emergente filosofia de reciclagem, e nas leis cada vez mais rigorosas, os resíduos sólidos industriais também vêm sendo reaproveitados como fertilizante em solos agrícolas.

No Brasil é uma prática pouco expressiva. No entanto, pesquisas em número crescentes estão sendo realizadas para elaboração de Normas Técnicas, regulamentando a aplicação de biossólidos em solos agrícolas (SANEPAR, 1999; EMBRAPA, 2000).

2.4 CERÂMICA VERMELHA

Segundo a ANICER (2007) os materiais cerâmicos, que são utilizados desde 4.000 a.C. pelo homem, 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 por meio das ruínas desta civilização que dominava o processo de queima da argila.

De acordo com a MINEROPAR (2000) a cerâmica vermelha, compreende todos os produtos feitos com matérias-primas argilosas, que após queima apresentam coloração avermelhada. Os produtos deste segmento podem ser subdivididos em *cerâmica vermelha de massa porosa* que são, por exemplo, os tijolos, telhas, vasos etc. e em *cerâmica vermelha de massa semi vitrificada* que são os ladrilhos de piso, lajotas etc., por exemplo.

2.4.1 Indústria de cerâmica vermelha no Estado do Paraná

De acordo com a MINEROPAR (2000) o Estado do Paraná, genericamente, pode ter a sua geologia dividida em três grandes compartimentos. O primeiro, que se estende do litoral até a escarpa do 2º planalto (São Luiz do Purunã), constitui o 1º Planalto. O 2º compartimento, limitado por Antônio Olinto ao sul e Siqueira Campos ao norte, corresponde ao 2º Planalto (da Serra de São Luiz do Purunã até a Serra da Esperança) e o 3º compartimento, que coincide com o 3º Planalto (da Serra da Esperança até o Rio Paraná), é constituído predominantemente de rochas de composição basáltica, cuja decomposição origina os latossolos argilosos – Terras Roxas, com exceção da parte Noroeste do Estado, onde os basaltos estão recobertos pelos arenitos da Formação Caiuá.

Destes compartimentos, merece destaque o Terceiro Planalto, pois é nesta região que está inserido Japurá, um Município grande produtor de cerâmica vermelha. Nesta região há presença de rochas basálticas da Formação Serra Geral e os materiais argilosos encontrados no local ocorrem de três modos: depósitos de argilas transportadas, os latossolos e argilas residuais.

Ainda de acordo com a MINEROPAR (2000) os depósitos de argilas transportadas formam-se nas várzeas, concentradas pela ação dos rios. Elas são muito mais utilizadas na produção de tijolos e telhas, pelas olarias localizadas ao longo das margens de rios, lagos ou várzeas. Os latossolos argilosos em diversos tons de vermelho, típicos da região, são utilizados por algumas cerâmicas como a argila com baixa concentração de partículas de argila ou solo. Estas não podem ser consideradas tecnicamente uma argila, porém às vezes são indispensáveis para a mistura. As argilas residuais ou primárias são aquelas que permanecem

no local em que se formaram, devido a condições adequadas de intemperismo, topografia e natureza da rocha matriz. São lavradas em quase todos os municípios produtores deste compartimento. Dos principais municípios produtores, Japurá, Floresta e Jataizinho respondem por 52% do total produzido.

O Estado do Paraná pode ser subdividido em 6 (seis) regiões produtoras de cerâmica vermelha (Figura 2.4), cada qual com a sua característica particular.

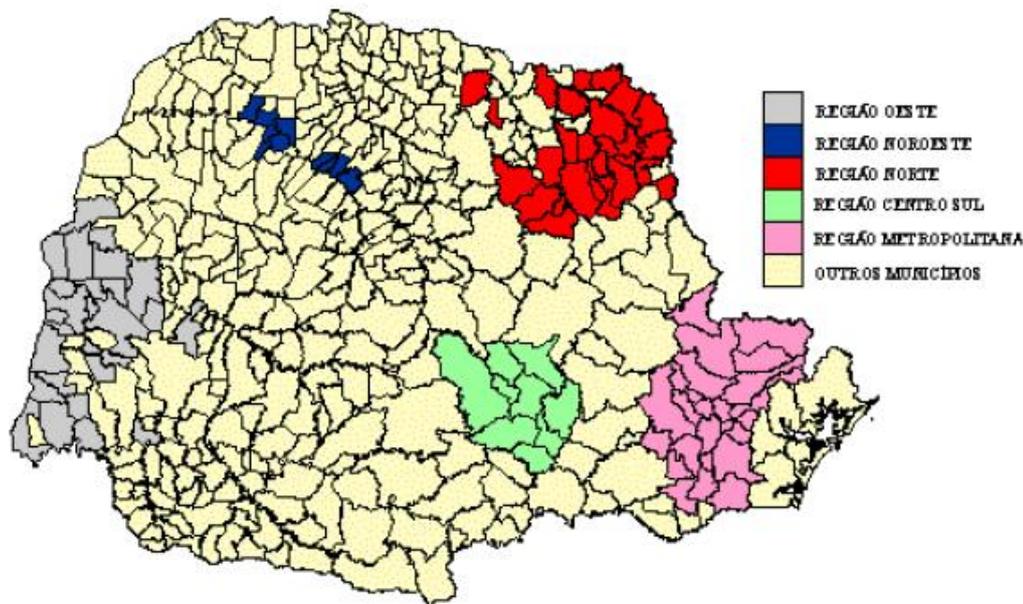


Figura 2.4 – Localização das regiões produtoras de Cerâmica Vermelha no Paraná

Fonte: MINEROPAR (2000)

Para este trabalho merece destaque a região Noroeste, na qual se destaca o Município de Japurá, responsável por 6,93% da produção paranaense. Na região são utilizadas argilas residuais ou primárias.

2.4.2 Argila cerâmica

A principal matéria-prima utilizada na cerâmica vermelha é a argila – trata-se de um material natural, de estrutura terrosa e de textura fina que adquire, quando umedecida, certo grau de plasticidade, suficiente para ser moldada. Esta característica é perdida temporariamente pela secagem, e permanentemente pela queima, quando o produto adquire resistência mecânica (MINEROPAR, 2000).

De acordo com Santos (1989) a argila é um material inorgânico natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecida com água, certa plasticidade;

quimicamente, são as argilas formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. Designa o nome “argila” um grupo de partículas do solo cujas dimensões se encontram entre uma faixa especificada de valores ($< 2 \mu\text{m}$), segundo a escala granulométrica de Wentwork.

Os materiais argilosos utilizados na indústria de cerâmica vermelha são comercialmente e vulgarmente denominados de “barro” e que são também conhecidos como: *barro gordo*, quando rico em substâncias argilosas de elevada plasticidade, ou *barro magro*, quando o material argiloso contém certa quantidade de silte e areia fina dando um contato áspero ao tato. As argilas nunca ocorrem puras na natureza, mas sim, misturadas com outras substâncias que condicionam e/ou determinam suas características. As argilas assim constituídas podem ser denominadas de argilas industriais (MINEROPAR, 2000).

2.4.3 Bloco cerâmico estrutural

De acordo com a NBR 15270-2:2005 da ABNT, o bloco cerâmico estrutural é um componente da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém, os mesmos são produzidos para serem assentados com furos na vertical. Os blocos estruturais são aqueles que além de exercerem a função de vedação, também são destinados a execução de paredes que constituirão a estrutura resistente da edificação (podendo substituir pilares e vigas de concreto). Os blocos podem ser de paredes vazadas, paredes maciças ou perfurado. O bloco cerâmico acústico pesquisado neste trabalho é do tipo estrutural com paredes maciças.

2.5 INCORPORAÇÃO DE LODO GERADO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVANDERIAS INDUSTRIAIS TÊXTEIS EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – PROCESSO DE SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO

Diversos estudos para o reaproveitamento de resíduos industriais na indústria cerâmica, sobretudo para a fabricação de tijolos, já foram realizados com sucesso, podendo-se citar a utilização de lamas de Estações de Tratamento de Efluentes, cinzas de usinas termoelétricas, areias de fundição, refugos de mineração, escórias de fornos, resíduos de serragem de granito, entre outros (USEPA, 2003).

Cincotto (1989) cita as principais razões que motivam a atenção dos pesquisadores no aproveitamento de resíduos sólidos em construção civil:

- Esgotamento de reservas de matéria-prima;

- Preservação ambiental, afetado pelo volume crescente de resíduos sólidos descartados;
- Desequilíbrio econômico resultante de importação de matérias-primas.

De acordo com Kaminata et al. (2008) trabalhos de pesquisas já desenvolvidos com resíduos têxteis, incorporados em matrizes de argila e argamassa de cimento, mostraram resultados interessantes para serem desenvolvidos e aplicados. Algumas das publicações relacionadas com lodos têxteis e outros tipos de lodos são relatadas a seguir.

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 material secundário. O autor conclui também que a baixa resistência obtida nos resultados de resistência mecânica, foi consequência do alto teor de matéria orgânica contida no resíduo.

Nuvolari (2002) estudou a inertização de lodo de esgoto em blocos cerâmicos maciços. Dois diferentes tipos de lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Jesus Neto, foram misturados ao solo argiloso, nas proporções de 10, 20 e 30%, considerando a massa seca. Uma massa cerâmica feita apenas com o solo foi utilizada como testemunho. Depois de avaliados os parâmetros e condicionantes tecnológicos e ambientais para o emprego dos mesmos na construção civil, o autor conclui que é viável a incorporação de até 10% de qualquer lodo estudado na massa cerâmica.

Herek (2005) estudou o processo de solidificação/estabilização do lodo de indústria têxtil em material cerâmico, 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 cerâmica em proporções de 0, 10 e 20 % de lodo seco na massa de argila. Foram obtidos 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 10004:1987.

Pinto (2005) estudou o tratamento de resíduos contendo metais pesados por meio do processo de estabilização por solidificação em cimento. Para um estudo mais completo, foram utilizadas argilas no processo juntamente com o cimento com a propriedade de adsorver os metais pesados presentes nos resíduos. Nos ensaios com resíduo de curtume foram preparados

corpos de prova com cimento Portland e argilas brasileiras e comerciais. Nos ensaios com resíduo sólido do escoamento de água de chuva em estrada foram preparados corpos de prova com cimento Portland, argila bentonítica comercial e cal não hidratada. Os ensaios realizados consistiram em: espectroscopia de ressonância magnética nuclear do estado sólido, difração de raios X, análises termodiferencial e termogravimétrica, ensaio de lixiviação e resistência à compressão.

Os resultados de Pinto (2005) mostram que os resíduos participam da hidratação do cimento, retardando e/ou reagindo com alguns dos compostos do cimento. A presença das argilas favoreceu o encapsulamento dos metais pesados presentes nos resíduos, comprovado pelos ensaios de resistência à compressão e de lixiviação, que permaneceram dentro dos valores exigidos pela legislação ambiental. O processo de estabilização por solidificação apresentou potencial para sua aplicação ao tratamento de resíduo de curtume contendo cromo e do resíduo sólido do escoamento de água de chuva em estradas.

A pesquisa de Kaminata (2008) objetivou estudar uma alternativa para o reaproveitamento do lodo produzido 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. 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.

Para os blocos em escala real incorporados com 15% de lodo no estudo de Kaminata (2008), verificou-se também a resistência de aderência à tração em argamassa de reboco, especificação química e tratamento estatístico no balanço de massa. Constatou-se que os resultados dos ensaios realizados estão dentro dos limites estabelecidos nas normas 15270-1:2005 e 15270-3:2005, ambas da ABNT.

Duarte (2008) objetivou avaliar o uso de lodo de esgoto na Indústria Cerâmica como alternativa sustentável para a disposição final do resíduo. O estudo consistiu na fabricação de tijolos cerâmicos em escala real contendo lodo. A massa cerâmica foi constituída por duas argilas com características distintas e o lodo oriundo de uma empresa de caminhões “limpa-fossa”. Após as avaliações técnicas foi permitido concluir que a dosagem máxima de lodo que atende aos requisitos técnicos e ambientais é de 20%.

Ramos (2009) objetivou avaliar o efeito da incorporação do resíduo têxtil, em massa cerâmica, pelo processo de solidificação/estabilização (S/E), para produção de blocos cerâmicos de vedação. A proporção de 15% de incorporação de lodo têxtil na massa cerâmica,

foi considerada aquela que garantia as melhores condições técnicas de produção, neste sentido, foi realizada nos blocos cerâmicos fabricados nesta proporção, uma avaliação estatística da possível ocorrência da volatilização dos metais durante o processo de queima e, com uma confiabilidade estabelecida em 95%, foi possível observar que não houve volatilização dos metais durante a etapa de queima dos blocos cerâmicos. A avaliação da volatilização dos metais pesados foi realizado por meio do teste de significância. Este teste avaliou o limite de confiança na diferença entre duas médias, tomando como hipótese que dois dados amostrais pertencem ao mesmo universo Assim, pode-se concluir que, o processo de Solidificação/Estabilização foi capaz de imobilizar de forma eficaz, nos blocos cerâmicos, os metais presentes no resíduo têxtil.

Almeida (2009) avaliou a incorporação do lodo têxtil em 5 tipos de argilas, encontradas na região norte do Paraná, e realizou-se uma análise qualitativa dos blocos cerâmicos, com composição de 15% de lodo têxtil, em função de suas características, estabelecidas nas normas 15270-1:2005 e 15270-3:2005 da ABNT. Foram fabricados blocos em escala reduzida que foram submetidos a testes de resistência à compressão, lixiviação, solubilização e absorção de água, de acordo com as respectivas normas brasileiras. O tipo de argila influenciou as características mecânicas dos blocos cerâmicos. Os blocos fabricados com a argila que apresentava maior quantidade de fração areia e de matéria orgânica foram os que apresentaram menor resistência mecânica. Foi verificado nas condições estudadas que os blocos cerâmicos apresentaram lixiviação e solubilização dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas. Assim, o processo de solidificação/estabilização foi capaz de imobilizar de forma eficaz, os metais presentes no lodo têxtil, mostrando-se como um promissor processo de minimização de impactos ambientais.

2.6 ACÚSTICA

De acordo com Henrique (2002) a palavra acústica tem origem na palavra grega *akouein*, que significa ouvir, no entanto, hoje o seu significado transcende em muito os sons que se ouve. Acústica é uma ciência, um ramo da física por meio do qual se investigam as vibrações mecânicas e os fenômenos ondulatórios em um meio material elástico. De forma simplificada, pode-se dizer que a acústica estuda o som desde sua geração, propagação até a recepção do sinal sonoro.

2.6.1 O som: conceito e características

O som é uma sensação auditiva gerada por uma onda acústica. A onda acústica resulta de uma vibração em um meio elástico (como o ar e materiais de construção, por exemplo) que gera uma série de compressões e rarefações. Este é o entendimento psicofísico do som, uma vez que a definição física é que existe som sempre que houver um corpo em vibração, mesmo que não possamos escutá-lo (KNUDSEN e HARRIS, 1978).

Segundo Bistafa (2006) o som é a sensação produzida no sistema auditivo, enquanto ruído é um som sem harmonia, geralmente de conotação negativa. O som pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo.

Segundo Lisot (2008) existem três componentes básicos para que ocorra a sensação sonora:

- Um corpo capaz de vibrar com frequência entre 20 Hz e 20.000Hz a fonte sonora.
- Um meio material elástico entre a fonte sonora e o ouvido humano.
- Uma pressão sonora capaz de sensibilizar o ouvido humano.

Ainda, segundo Lisot (2008), o ouvido humano permite ouvir e interpretar o som por meio de processos complexos, que ainda permanecem, em parte, desconhecidos e responde a uma larga faixa de frequência sonora, desde o limiar da audição até o limiar da dor. O limite de frequência entre 20 Hz e 20.000Hz diz respeito à faixa de frequência que é capaz de sensibilizar o ouvido humano.

As ondas sonoras são definidas por Maia (2002) como ondas mecânicas longitudinais, as quais podem propagar-se em meio sólido, líquido e gasoso. São mecânicas por necessitarem de um meio material para que ocorra sua propagação e, longitudinais, pois as partículas materiais responsáveis por sua transmissão oscilam paralelamente à direção de propagação.

A amplitude (A) de uma onda sonora se refere à diferença entre os valores máximo e médio de pressão ao longo do tempo em um determinado ponto do espaço ou, alternativamente, ao longo do espaço na direção de propagação da onda, em um determinado instante de tempo. Quando a pressão varia do seu valor máximo ao mínimo retornando novamente ao máximo, diz-se que ela efetuou uma oscilação completa ou um ciclo. A distância entre dois picos de pressão na direção de propagação da onda é chamada de comprimento de onda (λ), enquanto que o tempo para que a pressão efetue esse ciclo é chamado período (T) da onda. A frequência (f) da onda refere-se ao número de ciclos realizados por unidade de tempo. A unidade 1 ciclo/segundo é denominada 1 Hertz (1 Hz). Assim, um som cuja frequência é de 200 Hz é uma onda periódica de pressão que completa

200 ciclos de vibração por segundo. A Figura 2.5 ilustra os conceitos de amplitude e comprimento de onda para os casos de duas ondas senoidais de mesma amplitude e frequências diferentes.

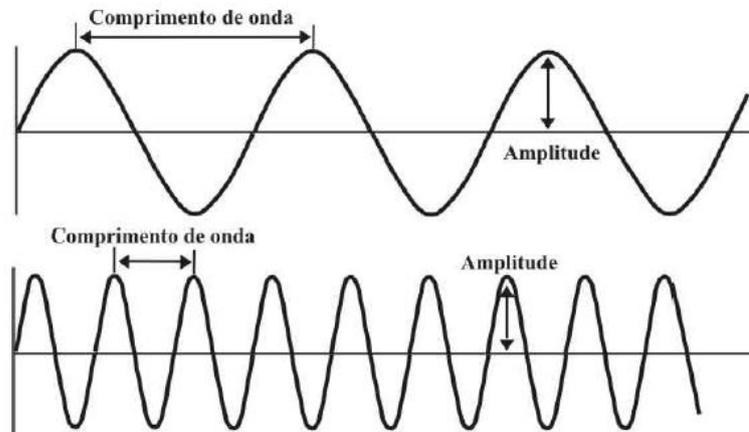


Figura 2.5 – Comprimento de ondas de diferentes frequências

Fonte: (KNIRSCH, 2008)

O comprimento de onda é representado pela letra grega lambda (λ) e é relacionado com a frequência através da velocidade do som no meio, conforme a Equação 2.1.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Em que:

“c” é a velocidade do som [m/s]

“f” é a frequência [Hz]

Uma onda sonora apresenta algumas particularidades que permitem melhor caracterizá-la. Portanto pode-se distinguir em um som a altura, a intensidade e o timbre.

A altura permite diferenciar um som grave de um agudo. Esta diferenciação se dá por meio da frequência com que o som se propaga. Baixas frequências permitem que se escute um som grave, enquanto altas frequências geram um som agudo.

A intensidade sonora corresponde à energia da onda, ou seja, à sua potência. Associa-se a intensidade sonora à amplitude da onda: quanto maior a amplitude da onda, maior a intensidade.

Já o timbre é a característica que permite distinguir sons de mesma altura e intensidade, porém emitidos por fontes distintas. Está diretamente associado à forma da onda, ou seja, está relacionado com a maneira de vibrar da fonte sonora.

2.6.2 Acústica de ambientes fechados e o Tempo de Reverberação

Devido à energia das ondas sonoras, as paredes e divisões como, por exemplo, vidro, alvenaria ou madeira, vibram no todo ou em parte e re-irradiam a energia que nelas incide. Quando os objetos são atingidos por uma onda sonora, entram em vibração. Em ambientes fechados quando uma onda sonora atinge uma parede ou um obstáculo qualquer, parte da energia incidente, é refletida, parte é dissipada, parte é absorvida e parte é transmitida pelo referido obstáculo, como ilustrado na Figura 2.6.

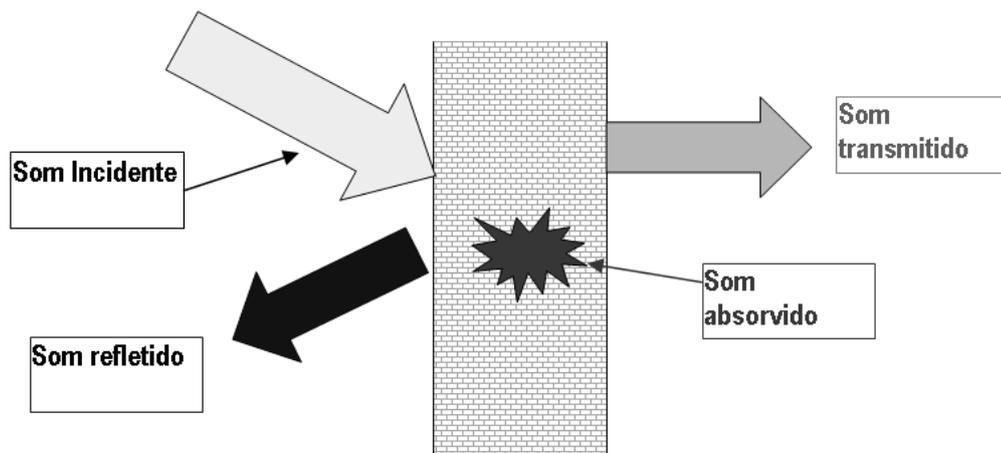


Figura 2.6 – Esquema da divisão do som ao encontrar um obstáculo

Fonte: BERTULANI (2008)

Segundo Marco (1986) a existência de fechamentos num recinto dá origem aos sons refletidos, e implica no surgimento da “intensidade reverberante - Ir”. O fenômeno chama-se reverberação e incide de três modos na distribuição do som no recinto:

- a) como a absorção dos diferentes materiais é seletiva com relação à frequência, o espectro do som reverberante não coincide com o do som direto;
- b) uma vez que os materiais absorventes não serão distribuídos homogeneamente no recinto, a distribuição espacial do som não é homogênea; e
- c) o som reverberante persiste certo tempo no local, depois da fonte deixar de emitir o som.

Para Marco (1986) como a absorção dos materiais depende da frequência do som, a quantidade de som reverberante e o Tempo de Reverberação (TR) também dependerão dela. Esse TR é definido como o tempo que um som demora para diminuir a sua intensidade à sua milésima parte – ou reduzir em 60 dB o seu nível – a partir do momento em que cessa a fonte sonora. De acordo com Díaz e Pedrero (2007) um fator importante da acústica arquitetônica

em ambientes fechados é calcular o tempo de reverberação em diferentes frequências com o intuito de melhor compreender os efeitos das ondas sonoras nestes ambientes, conforme ocorre a variação do comprimento de onda. Desta forma torna-se possível elaborar soluções adequadas para problemas acústicos específicos de cada ambiente.

O TR adequado contribui para um conforto melhor em ambientes fechados, contudo esse parâmetro do ambiente tem sido frequentemente negligenciado. Segundo Souza, Almeida e Bragança (2006) a boa difusão em ambientes, pode ser alcançada não só pela forma irregular e difusora de superfícies, mas também pela aplicação balanceada de materiais de construção. Como cada material apresenta capacidade própria de absorção sonora, sua distribuição influi na reverberação de um ambiente. Quanto maior a quantidade de materiais absorventes, menor o TR ou ainda quanto menor a capacidade de absorção sonora dos materiais de um ambiente, maior o tempo de absorção do ambiente.

Nos ambientes fechados, a escolha de materiais das superfícies deve ser compatibilizada com as demais propriedades estabelecidas, pois influi em aspectos como a intensidade do som refletido, a porcentagem de som absorvido, a distribuição das frequências, a reverberação e o nível de ruídos do ambiente. Desse modo, os materiais são em grande parte responsáveis pela qualidade acústica do ambiente. Os materiais de construção possuem uma característica importante que é a capacidade de absorção sonora. A absorção resulta de uma alteração da energia sonora em outra forma de energia, geralmente calor. A capacidade de absorção do material é indicada pelo coeficiente de absorção.

2.6.3 Coeficiente de absorção sonora de Sabine

Segundo Bistafa (2006) o coeficiente de absorção sonora normalmente utilizado nas aplicações é aquele obtido experimentalmente em uma câmara de testes especial, denominada câmara reverberante. O coeficiente de absorção sonora obtido é denominado de Sabine.

A Tabela 2.1 apresenta os valores de coeficientes de absorção de alguns materiais. O coeficiente de absorção representa a porcentagem de som que é absorvido, ou deixa de ser refletido, em relação ao som incidente.

Tabela 2.1 – Coeficientes de absorção sonora de alguns materiais

Materiais	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Reboco áspero	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Borracha	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Tapete de veludo	0,05	---	0,10	0,24	0,42	0,60
Chapa de lã de madeira de 50 mm diretamente em parede	0,11	---	0,90	0,60	0,79	0,68
Cortina grossa	0,25	---	0,40	---	0,60	---
Público por pessoa	0,33	---	0,44	---	0,46	---
Portas de madeira fechada	0,14	---	0,06	---	0,10	---
Janela aberta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidraça de janela	---	0,04	0,03	0,02	---	---

Fonte: NBR 12179 (NB-101), 1992

Observa-se que o coeficiente de absorção de um determinado material varia de 0 a 1, e não é o mesmo para sons graves, médios e agudos. Para Souza, Almeida e Bragança (2006) quando os materiais ou componentes de uma superfície têm a absorção sonora como uma característica predominante, eles são chamados materiais acústicos. A maneira como a energia sonora é absorvida pelos materiais ou elementos acústicos, permite a distinção das seguintes classes de material: porosos, painéis ou membranas vibratórias; e ressoadores.

A quantificação da absorção sonora é um indicador numérico de grande importância para o projetista, e determinação indispensável quando se deseja avaliar a acústica de um ambiente fechado. Como cada um dos elementos e materiais que compõem um ambiente possui faixas específicas de frequência sonora absorvida, sua aplicação de forma balanceada (adequada) contribui para a uniformidade da reverberação.

Para exemplificar, podemos considerar a borracha sendo utilizada para absorver a energia sonora na frequência de 1000 Hz. De acordo com a tabela o seu coeficiente de absorção na frequência citada é de 0,12, isto significa que 12% da energia sonora na frequência de 1000Hz que incide neste material será absorvida e os outros 88% da energia incidente será refletida ou dissipada.

Conhecido o valor do coeficiente de absorção, a determinação da absorção da superfície é decorrente da área do material. A absorção de uma superfície é calculada multiplicando a área da superfície pelo coeficiente de absorção do material que compõe a mesma superfície, e a absorção total de uma sala é calculada somando todas as absorções que compõem o ambiente.

Uma das formas para determinar algumas das principais características acústicas de materiais como, por exemplo, o coeficiente de absorção de um determinado material é utilizar uma câmara reverberante.

2.6.4 Câmara Reverberante

Segundo Santos e Beroli (2008) salas especiais que possuem características físicas que propiciam um campo reverberante difuso são comumente chamadas de Câmaras Reverberantes. As Câmaras Reverberantes são utilizadas para determinação de algumas das principais características acústicas de materiais como a absorção sonora e difusidade ou espalhamento. Porém a instalação de uma Câmara Reverberante é um empreendimento oneroso devido às características físicas e construtivas exigidas para o espaço. Uma alternativa é utilizar câmaras menores e trabalhar com as diferenças de escala entre elas, respeitando o limite geométrico imposto pelo fator de escala.

Ainda segundo Santos e Beroli (2008) as câmaras reverberantes normalmente possuem paredes rígidas e a superfície interna altamente reflexiva, com coeficiente de absorção sonora menor que 0,06 (ISO 3741:1999) para a faixa de frequências de medição desejada. As paredes de grande parte das câmaras reverberantes não são paralelas evitando assim a ocorrência de ondas estacionárias.

2.6.5 Ressonador de Helmholtz

Segundo Lisot (2008) Hermann Ludwing Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), foi quem primeiro executou experimentos com objetos esféricos, de tamanho graduado, com um pescoço e um buraco para aproximar do ouvido e escutar o resultado da experiência. Foi ele quem conseguiu estimar a energia para cada frequência por meio da intensidade do som em diferentes ressoadores.

Um ressonador de Helmholtz é um sistema formado por uma cavidade (de paredes rígidas) tendo uma única abertura estreita. O ar do gargalo é colocado em vibração, entrando e saindo do gargalo. Com relação aos ressoadores, é relatado que estes foram empregados inicialmente pelos Gregos e pelos Romanos em seus teatros e também nas igrejas Românicas de toda Europa.

De acordo com Crunelle (2008) vasos eram instalados nas paredes, e representavam uma tentativa consciente de dar um caráter acústico específico para um espaço. Crunelle (2008) explica que Vitrúvio (1960), ensina que os vasos foram inicialmente utilizados pelos

Gregos e também dá procedimentos de como escolher as suas dimensões e o posicionamento. Na Figura 2.7 tem-se um exemplo da aplicação de vasos acústicos em teatros antigos. Nos teatros antigos e nas igrejas da idade média se encontram cavidades, chamadas de *vasos acústicos*. Nos teatros, estes ressonadores serviam para amplificar a voz dos atores. Nas igrejas eles tinham uma função de absorção, contribuindo para atenuar a reverberação na região de baixas frequências (a frequência de ressonância destes vasos é da ordem de 200 Hz).

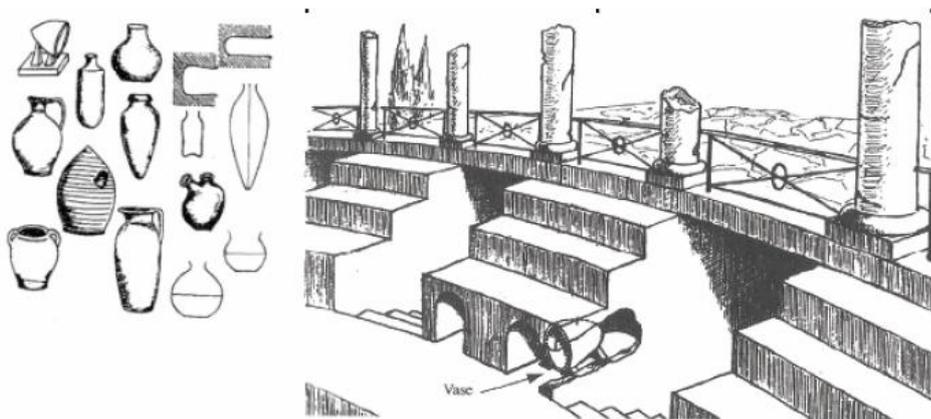


Figura 2.7 – Vasos acústicos

Fonte: REMY (2009)

O ressonador de Helmholtz é um sistema absorvedor baseado na propriedade de dissipar energia em torno de uma frequência de ressonância, a qual é função das características geométricas do sistema (SANTOS, 2005).

Os ressoadores de Helmholtz são sistemas acústicos que consistem de uma passagem de ar que se movimenta e está conectada com uma quantidade de ar presa num volume, representado na Figura 2.8. Esse volume pode ter infinitas formas: concha, garrafa, estrutura de um instrumento musical, superfícies de paredes perfuradas. Quando o ar interior desses ressoadores entra em vibração, para certa frequência de ressonância, pode dissipar a energia sonora transformando-a em energia mecânica, sob forma de atrito e funcionando, então, como absorvedor de som (SILVA, 2002).

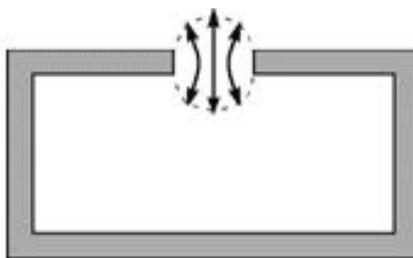


Figura 2.8 – Modelo genérico de Ressonador de Helmholtz

Fonte: CAMPOS (2009)

Campos (2009) explica a geometria e a funcionalidade dos ressoadores de Helmholtz, com o exemplo da garrafa vazia. O ar no pescoço da garrafa cria a mencionada passagem de ar e, o ar dentro do restante da garrafa, funciona como volume conjugado. A passagem tem uma massa acústica, a qual resulta de sua geometria e densidade específica do ar. Esta massa se sobrepõe ao restante do volume de ar da garrafa, formando um sistema flutuante com uma ressonância.

Para que o ressoador absorva o som, o ar flutuante da passagem deve ser freado, ou ter sua velocidade reduzida através da fricção. Este efeito é obtido por meio da massa de ar do gargalo, a qual funciona como um êmbolo ligado a uma mola, ou seja, o volume de ar da garrafa. Na frequência de ressonância deste sistema a absorção sonora é máxima. Também é possível utilizar ressoadores de Helmholtz para amplificar o som, como é o caso do violão (LISOT, 2008).

Para estimar a frequência de oscilação do ar nos ressoadores de Helmholtz (Figura 2.9), Rossing (1990 apud HENRIQUE, 2002) apresenta a Equação 2.2.

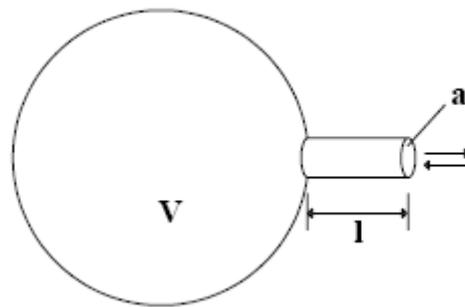


Figura 2.9 – Ressoador de Helmholtz

Fonte: Henrique (2002)

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{Vl}} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Em que,

f é a frequência do ressoador [Hz],

a é a área do gargalo [m^2],

l é comprimento do gargalo [m],

V é o volume do ressoador [m^3],

c é a velocidade do som no ar [m/s].

Assim, sugere-se a utilização de ressoadores de Helmholtz em barreiras acústicas para maior atenuação do ruído, em especial ruídos de baixa frequência. Estes ressoadores podem ser peças de diversos materiais. Como exemplos, citam-se blocos de concreto, placas perfuradas, garrafas PET (Polietileno Tereftalato) (SANTOS, 2005), entre outros. Porém é necessário que se calculem o volume do ressoador, a área de abertura e o comprimento desta abertura para que a peça produza o efeito esperado de atenuadora do ruído. Neste trabalho, far-se-á um estudo de peças cerâmicas moldadas de tal forma que reproduzam ressoadores de Helmholtz com a incorporação de lodo têxtil e de sua utilização para a construção de barreiras acústicas.

2.6.6 Bloco cerâmico acústico

Um tipo de bloco cerâmico acústico fabricado e recentemente estudado por Lisot (2008), está apresentado na Figura 2.10, este modelo de ressoador de Helmholtz servirá de referência para a fabricação dos blocos cerâmicos com a incorporação do lodo de lavanderia industrial têxtil.

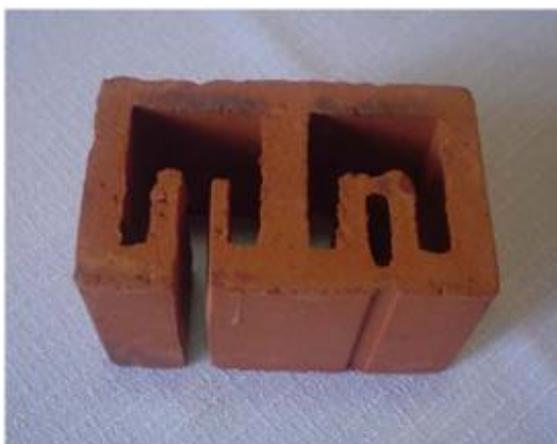


Figura 2.10 – Bloco cerâmico acústico.

Fonte: Lisot (2008)

Com base nos dados de Nível de Pressão Sonora (NPS) medidos por Lisot (2008) em sua área de estudo, que foi uma área próxima à Avenida Colombo em Maringá/PR, a autora dimensionou o ressoador de Helmholtz (bloco cerâmico acústico) para a frequência de interesse. O NPS ou SPL (*sound pressure level*) refere-se a medida usada para calcular a intensidade dos sons retratando a quantidade de energia existente na onda sonora.

O intuito do trabalho de Lisot (2008) foi buscar uma medida corretiva para os problemas provenientes do ruído gerado pelo tráfego de veículos em vias públicas, sendo assim optou por fazer uma análise espectral deste ruído conforme recomendação da NBR 10151:2000 – *Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade - Procedimento*, da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Devido aos valores obtidos no monitoramento de ruído, Lisot (2008) optou por direcionar o dimensionamento do ressoador de Helmholtz para uma frequência entre 125 e 250 Hz. Esta será a frequência de oscilação do ressoador, ou seja, a frequência de maior absorção. Buscou-se formar um conjunto com uma passagem de ar suficientemente longa associada a um volume de ar interno que atendesse a esta necessidade. Além destas características determinou-se também a modulação que deveria ser seguida no assentamento dos ressoadores, ou seja, se todas as peças teriam a abertura do “gargalo” ou se seria necessário intercalar estas aberturas para obter volumes internos maiores.

No entanto, devido a fatores de ordem prática, foi necessário que se trabalhasse neste estudo com ressoadores na escala reduzida em 1:5. Lisot (2008) afirma que mesmo sabendo que os resultados não são fiéis à realidade entende-se que dão uma boa perspectiva do desempenho das peças em questão.

Os principais fatores que levam a fabricação desses blocos com incorporação de lodo de lavanderias industriais têxteis são a minimização do problema ambiental causado pelo resíduo, e a fabricação de novos materiais que possam ser utilizados na construção civil, minimizando desta forma os custos gerados pelo atual sistema de disposição em aterros industriais e também atuando no conforto acústico urbano da população.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

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

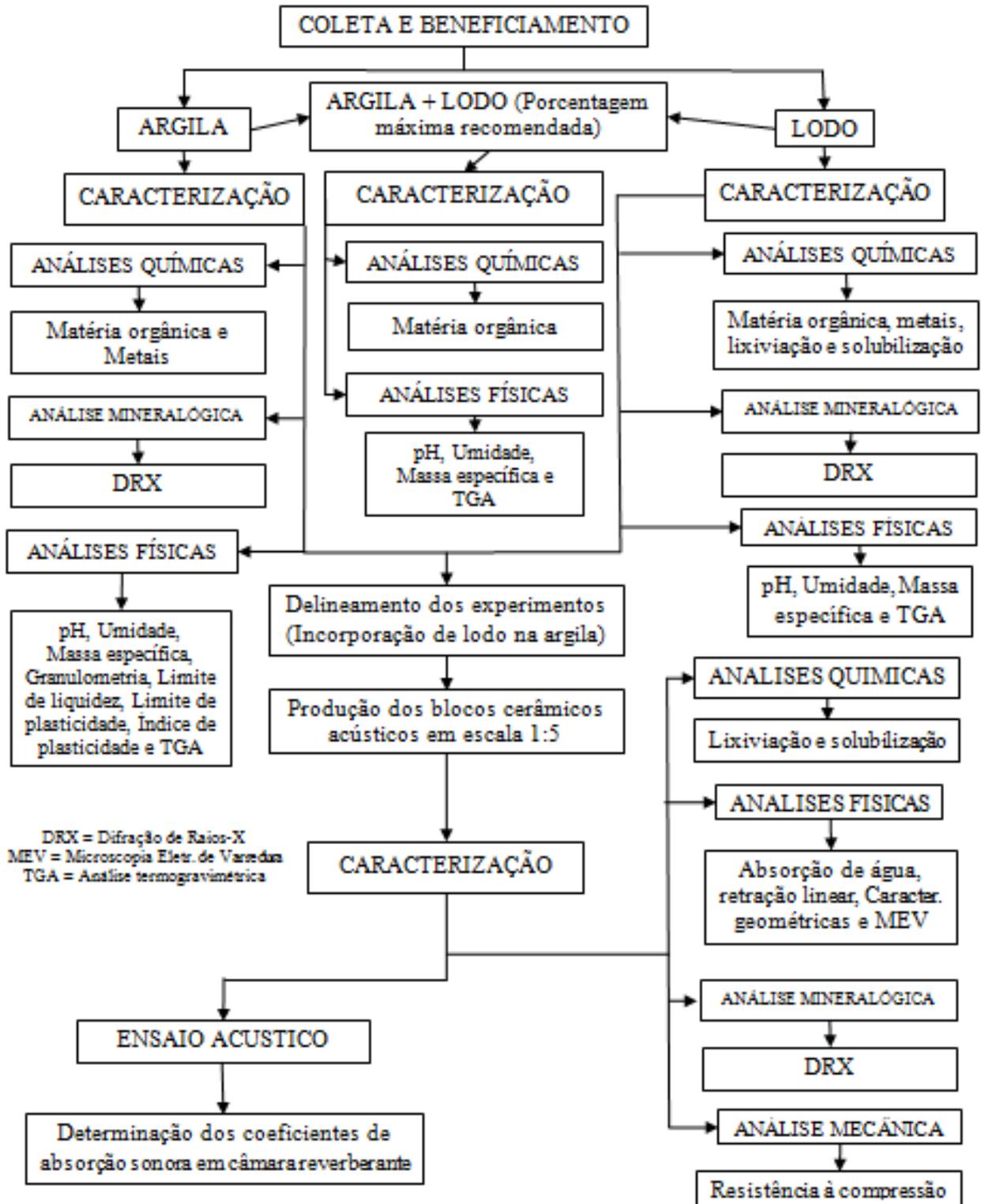


Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia adotada

3.1 COLETA E BENEFICIAMENTO DO LODO DE LAVANDERIA TÊXTIL

Foram coletados lodos de 14 pontos de 12 lavanderias industriais, isto porque em duas empresas havia dois tipos de tratamento de efluentes (biológico e físico-químico). Em seguida, os mesmos foram armazenados em tambores de polietileno, com tampa de fecho hermético e capacidade de 100 kg.

Os lodos foram coletados diretamente nas lavanderias industriais têxteis, onde estes materiais encontravam-se prontos para a destinação final em aterros industriais. Os lodos apresentavam características semelhantes entre si, por serem originados de um mesmo ramo industrial. Inicialmente os lodos foram moídos e passados por peneira de malha de 2,4 mm para evitar eventuais obstruções na boquilha da extrusora durante a produção dos blocos. Em seguida foi realizada a mistura dos 14 tipos de lodos, de forma a se obter uma mistura homogênea.

3.2 COLETA E BENEFICIAMENTO DA ARGILA CERÂMICA

A argila cerâmica utilizada neste trabalho foi extraída da jazida formada por sedimentação aluvial, localizada próximo às margens do rio Ivaí no Município de Japurá-PR. O material apresenta características variadas conforme a profundidade que se encontra. 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.

Para o uso da argila em escala industrial tem-se adotado a mistura para ocorrer a homogeneização, este procedimento é realizado durante a própria extração, de forma que a escavação é realizada abrangendo todas as camadas heterogêneas constituintes da jazida.

Durante o transporte da argila, da jazida ao depósito a céu aberto, localizado próxima à fábrica (Figura 3.2), também é realizada a mistura e homogeneização com a escavadeira mecânica, que revolve o material para que se mantenha menos adensado e mais arejado. O material é estocado e conservado neste estado em média 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 3.2 – Argila cerâmica depositada próxima à Indústria cerâmica

Foi realizada uma única coleta do material estabilizado (argila cerâmica), para utilização na pesquisa. Este procedimento teve a finalidade de manter a representatividade da amostragem, uniformizando a matéria-prima.

A argila (barro), fornecida pela Indústria cerâmica Ki-Lajes, foi encaminhada para a Universidade Estadual de Maringá (UEM) para ser beneficiada, e assim ser utilizada no processo. Primeiramente, a argila foi destorroada de forma preliminar e espalhada ao sol para diminuir a umidade. Após a secagem, durante um dia, fez-se um segundo destorroamento da argila em um moinho de barras, para posteriormente a mesma ser passada em uma peneira de 2,4mm de malha, para evitar eventuais obstruções na boquilha da extrusora durante a produção dos blocos. A Figura 3.3 ilustra algumas etapas citadas do beneficiamento da argila.



Figura 3.3 – Etapas do beneficiamento da argila: (a) secagem, (b) destorroamento e (c) argila peneirada

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE LAVANDERIA TÊXTIL

O lodo de lavanderia têxtil industrial foi caracterizado quanto à quantidade de matéria orgânica, teor de pH, umidade, massa específica, concentração de metais e quanto suas características tóxicas. Também foi realizado o ensaio de Difração de Raios-X (DRX) que identifica os minerais presentes no resíduo que proporciona refratariedade e rigidez após a queima e a Análise Termogravimétrica (TGA), que tem como finalidade determinar a perda ao fogo em amostras de lodo.

As análises de matéria orgânica, pH e umidade, além da obtenção dos extratos lixiviados e solubilizados, foram realizadas no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental do Departamento de Engenharia Química da UEM. A análise para a obtenção da massa específica foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da UEM. Os ensaios de DRX, TGA e Espectrofotometria de Absorção Atômica, esta para determinar a concentração dos metais, foram realizados na Central de Análises Avançadas de Materiais (CAM) do Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da UEM.

O resíduo foi classificado de acordo com a norma da NBR 10004:2004, e foram referências a NBR 10005:2004, para obtenção do extrato lixiviado e a NBR 10006:2004, para obtenção do extrato solubilizado, após os resultados obtidos foram comparados com os limites máximos definidos pelos Anexos F e G da NBR 10004:2004.

Os métodos adotados para cada experimento foram os seguintes: NBR 6508:1984, para determinação da massa específica; Método Kiehl (1979), para determinação de umidade e matéria orgânica; digestão em forno tipo mufla com solubilização da cinza residual com ácido nítrico, para determinação de metais de acordo com Melo (2007); Método Embrapa (1979), para determinação do pH; Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica, para leitura e quantificação dos metais presentes na extração à digestão ácida do lodo e dos extratos lixiviados e solubilizados. Foi utilizado o equipamento Difrátômetro de Raios-X da marca Shimadzu do modelo D6000, com fonte de Cu 40Kv e 30 mA, filtro de Níquel, num sistema completamente computadorizado para o ensaio de DRX. Foi utilizado o equipamento Sistema de Análise Térmica Simultânea (STA) da marca Netzsch e modelo STA 409 PG/4/G Luxx, para Análise Termogravimétrica (TGA).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA CERÂMICA

A argila cerâmica utilizada na presente pesquisa foi analisada quanto aos seguintes parâmetros: teor de umidade, matéria orgânica, pH, análise granulométrica, limite de plasticidade, limite de liquidez, índice de plasticidade e massa específica. Também foram realizados o ensaio de Difração de Raios-X (DRX) e Análise Termogravimétrica (TGA), além da quantificação de metais por espectrofotometria de absorção atômica.

As análises de argilas, tais como: massa específica, análise granulométrica, limite de plasticidade, limite de liquidez, índice de plasticidade foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos do departamento de Engenharia Civil da UEM. No laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental foi realizada a obtenção da extração à digestão ácida da argila para caracterizar a matéria-prima com relação à presença de metais, além do ensaio de pH, matéria orgânica total e umidade.

Os ensaios de DRX e TGA foram realizados na Central de Análises Avançadas de Materiais (CAM) do Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da UEM.

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

Nesse trabalho, a análise de TGA teve como finalidade determinar a perda ao fogo em amostras de argila. 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 a 1100 °C. Esse ensaio assemelha-se ao processo que ocorre nos blocos cerâmicos durante a queima nos fornos industriais, observando que a temperatura máxima alcançada nos fornos é de aproximadamente 1100 °C. Basicamente esta análise indica o teor de matéria orgânica e umidade presente na argila e a quantidade de gás e vapor, que são formados durante o aquecimento, resultantes da decomposição dos carbonatos.

Os equipamentos utilizados para os ensaios de DRX e TGA são os mesmos descritos anteriormente para a caracterização do lodo.

A determinação do limite de plasticidade foi realizada de acordo com a NBR 7180:1984; do limite de liquidez, de acordo com a NBR 6459:1984 e da granulometria de acordo com a NBR 7181:1982, o Método Kiehl (1979) foi utilizado para determinação de umidade e matéria orgânica; a digestão em forno tipo mufla com solubilização da cinza

residual com ácido nítrico, para determinação de metais de acordo com Melo (2007); Método Embrapa (1979), para determinação do pH; Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica, para identificação dos metais presentes na extração à digestão ácida do lodo e dos extratos lixiviados e solubilizados.

3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:5

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

Foram produzidas amostras de blocos cerâmicos, em escala reduzida em um quinto do tamanho real, utilizando formulações com 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 35% de lodo seco, na massa de argila cerâmica seca, para definir a máxima proporção adequada. Além destes, foram produzidos blocos controle, fabricados somente com argila cerâmica (“barro”).

Na busca de se manter uma ótima representatividade, foram produzidas, em média, 100 unidades de blocos cerâmicos acústicos para cada formulação citada anteriormente, com dimensões iniciais, ou seja, antes da queima, de 42,5 mm de comprimento, 69,8 mm de largura e 42,5 mm de altura. A queima dos blocos era efetuada nos fornos da indústria cerâmica Ki-Lajes do Município de Japurá-PR.

Com os resultados obtidos após ensaios normativos necessários, foi definida a máxima porcentagem de incorporação do lodo de lavanderia têxtil industrial na matriz de argila, sendo este, considerado padrão para as próximas etapas dos ensaios com blocos cerâmicos acústico em escala reduzida. Foram produzidos blocos cerâmicos acústicos em escala reduzida, aproximadamente 400 blocos controle e 400 blocos fabricados com a quantidade máxima recomendada de incorporação de lodo, a fim de serem obtidos os resultados das análises de DRX e também os coeficientes de absorção sonora de Sabine em câmara reverberante em escala reduzida. A determinação dos coeficientes de absorção sonora foi realizada no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (LACAF), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

3.6 PRODUÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS

3.6.1 Preparação e mistura de lodo com argila

As quantidades em massa de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35% de lodo misto e peneirado a serem incorporados na matriz argila, foram calculadas considerando a massa seca de ambos os materiais. Para a fabricação dos blocos com incorporação de lodo seguia-se o seguinte procedimento: à argila beneficiada era adicionado o lodo misto beneficiado em seguida adicionava-se água até formar uma massa pastosa, que era introduzida à extrusora. Para fabricação de blocos controle, a argila beneficiada era misturada com água para formação da massa pastosa (Figura 3.4).



Figura 3.4 – Processo de mistura de lodo e argila; (a) Argila cerâmica e lodo prontos para serem misturados e (b) mistura de lodo, argila e água

Segundo Kaminata (2008) é importante obter uma formação de massa pastosa adequada com a adição de água de maneira gradativa, a fim de obter uma plasticidade para moldagem. 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 menos coesa. A flacidez das peças conformadas após extrusão tem como consequência 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.

Na Tabela 3.1 apresentam-se as umidades finais, obtidas com a adição de água às matérias-primas, da massa pastosa.

Tabela 3.1 – Umidade final da massa pastosa

Formulação	Controle	5% de lodo	10% de lodo	15% de lodo	20% de lodo	25% de lodo	30% de lodo	35% de lodo
Umidade da massa pastosa (%)	20,92	19,19	20,72	19,38	21,03	21,31	21,69	21,60

Observa-se que para obtenção de uma massa ideal para confecção de blocos em extrusora de laboratório o índice de umidade final esteve entre 19,19 e 21,69 %. Assim, conseguindo-se obter uma umidade da massa de aproximadamente 20% provavelmente conseguir-se-á produzir blocos cerâmicos com qualidade satisfatória, além de conseguir se uma otimização do processo de fabricação.

3.6.2 Produção dos blocos cerâmicos acústicos em escala reduzida 1:5

Durante a operação para produção de amostras de blocos, foram necessárias precauções operacionais, visando maximizar a qualidade das amostras produzidas na extrusora de laboratório (Figura 3.5).

A massa para conformação dos blocos utilizando a extrusora passava primeiramente por processo de adensamento. Durante a produção, a caixa alimentadora de massa era abastecida de forma contínua, evitando com esse procedimento, a formação de blocos com falhas. 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.

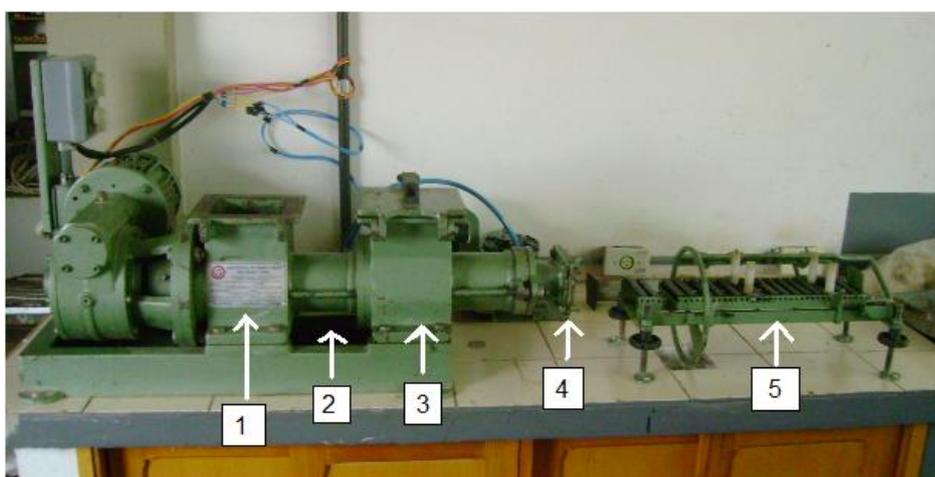


Figura 3.5 – Extrusora de laboratório equipada com caixa alimentadora (1), adensador (2), câmara de vácuo (3), boquilha (4) e mesa de corte (5)

A câmara de vácuo era mantida regulada, com pressão interna entre 560 mmHg e 635 mmHg, conforme recomendações 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 cerâmico acústico, que está instalada na saída da extrusora para moldagem da massa. As barras são cortadas por meio de fios de aço, em tamanho regulado para a dimensão do bloco ressoador. O ajuste do comprimento era realizado de acordo com a retração que o bloco sofreria durante a secagem e a queima.

A mesa de corte com roletes, adaptado na saída da extrusora, é equipada com cortador do tipo fio de aço, acoplado no volante, cujo movimento é da esquerda para direita ou de cima para baixo e vice-versa, com controle manual, executando o corte da barra de bloco saindo da boquilha. A Figura 3.6 ilustra a extrusão e o corte da barra cerâmica.

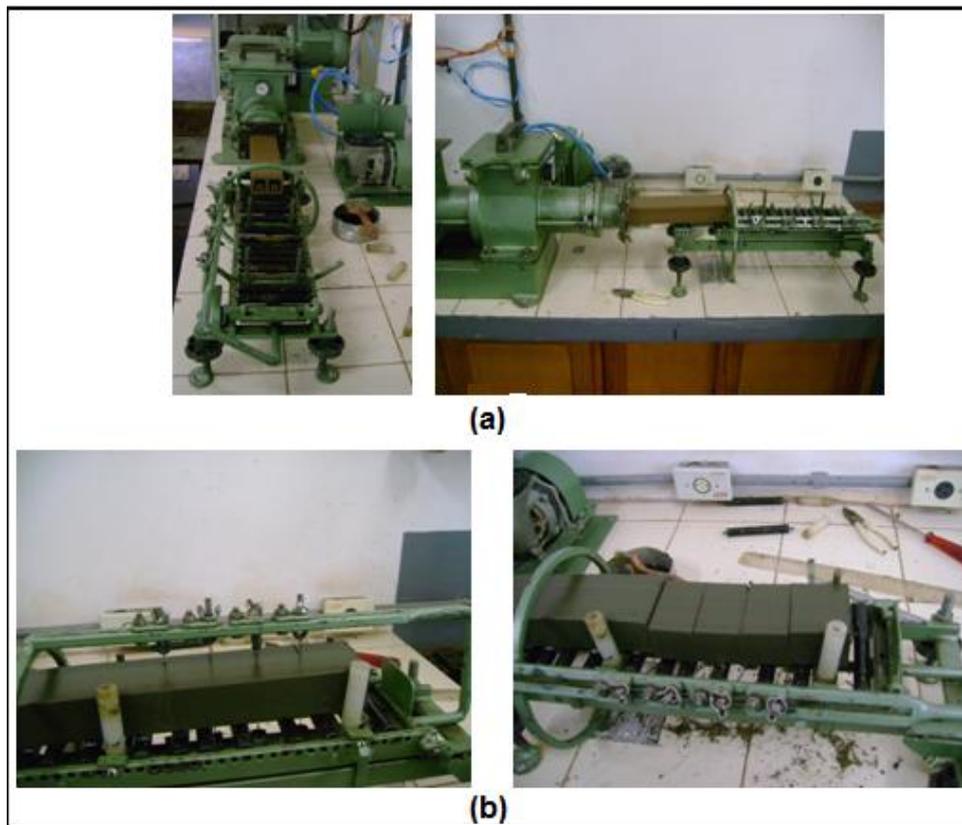


Figura 3.6 – Produção dos blocos. Extrusão da massa cerâmica (a) e corte da massa cerâmica (b)

Devem-se tomar precauções durante o manuseio dos blocos cerâmicos úmidos, para que os mesmos não sofram deformações. As deformações geométricas podem ser provocadas pelo próprio peso do bloco, ou ainda pelo empilhamento desordenado das peças.

3.6.3 Processo de secagem dos blocos cerâmicos acústicos

A etapa anterior à queima, que é a secagem dos blocos cerâmicos, é de grande importância, principalmente porque interfere na qualidade dos produtos cerâmicos finais. Segundo Cadé, Nascimento e Lima (2005) no processo de secagem, sem o devido controle, pode ocorrer elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do sólido, que 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 secagem dos blocos era realizada em ambiente fechado, dentro do Laboratório de Materiais de Construção da UEM (Figura 3.7), a princípio com pouca circulação de ar, e dessa forma, a massa constituinte dos blocos tinha retração lenta, mantendo-os intactos e isentos de trincas ou fissuras. Por conta do baixo gradiente de umidade e temperatura, a evaporação era gradativa, e após o período mínimo de 10 dias os blocos estavam prontos para a queima.



Figura 3.7 – Blocos cerâmicos durante a etapa de secagem

3.6.4 Processo de queima dos blocos cerâmicos acústicos

A queima das peças era realizada em forno industrial da Cerâmica Ki-Lajes na cidade de Japurá, estado do Paraná (Figura 3.8). Para evitar prejuízos durante este procedimento, há necessidade de controle no tempo e na temperatura de queima, 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.



Figura 3.8 – Forno da Indústria Cerâmica para queima dos blocos

O forno utilizado para queima foi do tipo Hoffmam, 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 tempo total de queima dos blocos era de 72 horas, sendo as primeiras 24 horas, denominada queima lenta, isto é, aquecimento paulatino começando por 40 °C, chegando à 200 °C. A temperatura interna do forno ficava em contínuo aumento durante as próximas 24 horas, atingindo de 850 °C até 1100 °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 bagaço de cana nas duas pequenas aberturas para queima do forno, que é mantido em constante chama.

Nesse processo de combustão durante 24 horas, elevava-se a temperatura a aproximadamente 1100 °C, na parte superior e 850 °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, permitia também a distribuição do calor em todo o espaço interno. Em consequência dessa distribuição de calor, havia a uniformidade da queima dos blocos cerâmicos no interior do forno em torno de 930 °C.

A distribuição do calor interno era possível devido às características de construção do forno, cujo piso é feito em forma de grelha, sobre canaletas interligadas com dutos, provenientes de potentes equipamentos elétricos de exaustão. O ar quente da exaustão era 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 era 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, estão instalados dois grandes ventiladores para realização completa do resfriamento durante 6 horas, só depois, os blocos queimados eram retirados e transportados para o galpão e em seguida para realização das análises.

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 o tempo para atingir a temperatura ideal da queima.

3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS

3.7.1 Análises Físicas

3.7.1.1 Características Geométricas

A verificação das características geométricas era realizada conforme as recomendações da NBR 15270-3/2005. Foram feitas medições dimensionais de amostras de blocos cerâmicos queimados, considerando as três dimensões principais do tijolo (Figura 3.9): o comprimento (C), a largura (L) e a altura (H), utilizando-se de régua metálica e paquímetro.

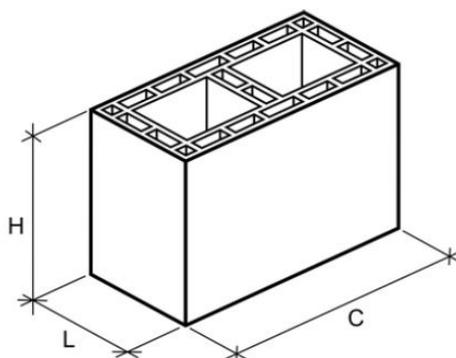


Figura 3.9 – Dimensões das faces do bloco (C = comprimento, L = largura e H = altura)

Fonte: NBR 15270-1:2005

Para determinar o desvio em relação ao esquadro (D), que é o ângulo formado entre o plano de assentamento do bloco e sua face, realizava-se a medição empregando-se o esquadro metálico, de acordo com a Figura 3.10.

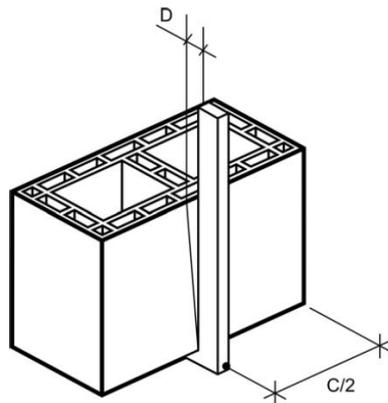
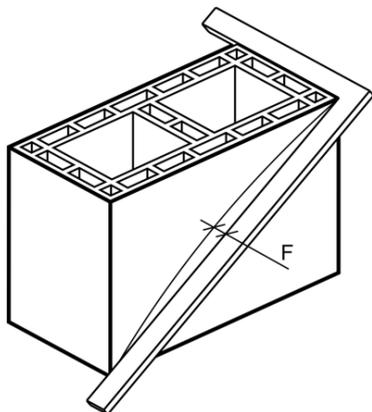


Figura 3.10 – Desvio em relação ao esquadro (D)

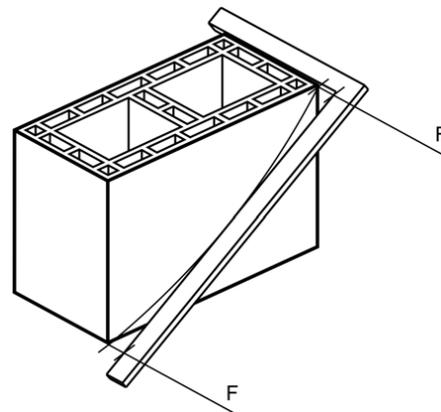
Fonte: NBR 15270-1:2005

Outra característica importante refere-se à planeza das faces (F). Esta medição é importante para verificar eventual presença de concavidades ou convexidades, manifestada nas faces dos blocos cerâmicos. Este fenômeno é medido pela distância (F), empregando-se o esquadro metálico, conforme indicado nas Figuras 3.11 e 3.12.



**Figura 3.11 – Planeza das faces –
Representação esquemática de desvio
côncavo no bloco**

Fonte: NBR 15270-1:2005



**Figura 3.12 – Planeza das faces –
Representação esquemática de desvio
convexo no bloco**

Fonte: NBR 15270-1:2005

A não conformidade da planeza das faces está associada ao aparecimento de irregularidades, principalmente, durante a etapa de revestimento, pois o reboco poderá apresentar variações de espessura na parede.

3.7.1.2 Retração Linear

A retração linear era verificada realizando-se medições geométricas das amostras dos blocos, considerando o comprimento (C), largura (L) e altura (H) de cada peça, logo após a

conformação, ou seja, ainda úmido e também após a queima. A diferença das medidas entre a amostra úmida e a amostra queimada de cada bloco, representou a retração linear de cada dimensão.

Foram utilizadas, para o ensaio, 20 (vinte) amostras de blocos cerâmicos de cada formulação (com 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35% de lodo incorporado a massa cerâmica), além dos blocos controle (100% de argila). A quantidade escolhida visa obter resultados representativos com baixos índices de desvio padrão e variância.

Por fim, foi considerado como medida válida, o valor médio encontrado nas 20 amostras de cada formulação.

3.7.1.3 Índice de absorção de água

Os ensaios para determinar o índice de absorção de água eram realizados de acordo com os procedimentos da norma NBR 15270-3/2005. Primeiramente as amostras de blocos cerâmicos de cada formulação (com 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35% de lodo incorporado a massa cerâmica), além dos blocos controle (100% de argila cerâmica) eram preparadas, ou seja, limpas com a retirada de pó e outras partículas soltas, as rebarbas eram retiradas e os 20 (vinte) blocos eram colocados em ambiente protegido, para a preservação das características originais.

Para os ensaios de absorção de água, foi utilizada uma estufa marca Quimis que manteve temperatura entre $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e balança Gerraka modelo 2000 com sensibilidade de 1,0 grama. As amostras eram submetidas à secagem na estufa, até a estabilização do peso. Após um período mínimo de 24 horas, as amostras eram retiradas da estufa e pesadas imediatamente, obtendo-se a massa seca. As massas secas individuais dos blocos eram determinadas em intervalos de 1 h, até que duas pesagens consecutivas de cada um deles deferissem em no máximo 0,25%.

Após a determinação da massa seca em gramas, as amostras eram 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 eram removidas e colocadas em bancada para permitir o escoamento do excesso de água, este tempo segundo a NBR 15270-3:2005 não deve exceder 15 minutos. A massa úmida em gramas era determinada pela pesagem de cada amostra saturada. Por fim, o índice de absorção médio de água (IAA) era determinado pela Equação 3.1:

$$IAA(\%) = \frac{\sum_1^{20} \left(\frac{Mu_n - Ms_n}{Ms_n} \right) \times 100}{20} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Em que:

IAA (%) é o índice médio de absorção de água;

Mu_n é a massa úmida do bloco n;

Ms_n é a massa seca do bloco n.

3.7.1.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) – Análise de superfície

A caracterização, dos blocos cerâmicos referente à análise de superfície, era realizada por meio do ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O Microscópio Eletrônico de Varredura permite a observação e análise micro-estrutural do bloco cerâmico.

A análise de MEV para este estudo foi meramente ilustrativa, para visualização das conformações estruturais de cada amostra de bloco cerâmico, nas diferentes formulações testadas.

As análises de MEV foram realizadas no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa da UEM, para isto utilizou-se o Microscópio Eletrônico de Varredura modelo SS-550 da marca Shimadzu.

3.7.2 Análise Mecânica

3.7.2.1 Resistência característica à compressão

A Resistência à compressão é a propriedade principal das unidades de alvenaria a ser levantada e controlada, uma vez que as estruturas de alvenaria são concebidas primordialmente para resistirem a esse tipo de esforço. Outra propriedade ligada à resistência à compressão é a durabilidade.

Os ensaios de resistência à compressão dos blocos cerâmicos eram realizados conforme procedimentos descritos na NBR 15270-3:2005. Para os referidos testes, os blocos ensaiados, num total de 20 amostras de blocos de cada formulação, ou seja, blocos cerâmicos controle, produzidos apenas com argila, e blocos cerâmicos, com incorporação de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35% de lodo, eram identificados, limpos e retiradas as rebarbas.

O procedimento para o ensaio consistiu em medir o comprimento (C) e a largura (L) dos blocos para determinação da área bruta de assentamento de cada peça. Em seguida era

efetuado o capeamento, conforme a NBR 15270-3:2005, com camada de enxofre com espessura de aproximadamente dois milímetros nas faces opostas destinadas ao assentamento (Figura 3.13). A Figura 3.14 ilustra como se deve obter um bloco com as duas faces de trabalho devidamente regularizadas e tanto quanto possível paralelas. Todos os blocos devem ser ensaiados de modo que a carga seja aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego, sempre perpendicular ao comprimento e na face destinada ao assentamento. Durante o ensaio objetivou-se colocar os blocos na prensa de modo que o seu centro de gravidade estivesse no eixo de carga dos pratos da prensa.



Figura 3.13 – Bloco cerâmico capeado

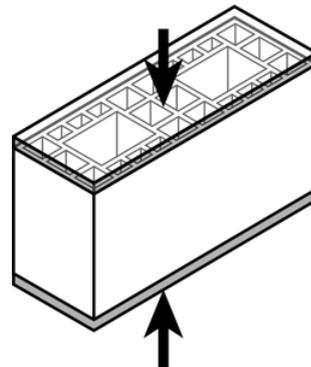


Figura 3.14 – Compressão axial de bloco de vedação

Fonte: NBR 15270-3:2005

Os blocos eram ensaiados (Figura 3.15) em condição saturada, após 24 horas de imersão na água. A resistência característica à compressão, expressa em megapascal (MPa), de cada amostra era obtida conforme NBR 15270-2:2005. Os comandos da prensa foram regulados de forma que a tensão aplicada calculada em relação à área bruta se elevasse à razão de $0,05 \text{ M.Pa.s}^{-1}$. Para o ensaio de resistência à compressão nas amostras dos blocos estruturais em escala reduzida, foi utilizada a prensa modelo EMU 100, com capacidade para 20.000 kg.



Figura 3.15 – Ensaio de resistência à compressão do bloco cerâmico acústico em escala reduzida.

A resistência característica à compressão (f_{bk}) dos blocos cerâmicos estruturais deve ser considerada a partir de 3,0 MPa, referida à área bruta (A_b). A estimativa da resistência à compressão da amostra dos blocos é o valor estipulado pela seguinte equação:

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_b(1) + f_b(2) + \dots + f_b(i-1)}{i-1} \right] - f_{bi} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Em que:

$f_{bk,est}$ = resistência característica estimada da amostra, em MPa;

$f_b(1) + f_b(2) + \dots + f_b(i-1)$ = são os valores de resistência à compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, ordenados crescentemente;

n = quantidade de blocos da amostra

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

$i = (n - 1)/2$, se n for ímpar;

Após o cálculo da resistência característica à compressão estimada, faz-se a seguinte análise:

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

b) se o valor do $f_{bk,est} < \phi \times f_{b(1)}$ (menor valor da resistência à compressão de todos os corpos-de-prova da amostra), adota-se a resistência característica à compressão (f_{bk}) determinada pela expressão $\phi \times f_{b(1)}$, estando os valores de ϕ indicados na Tabela 3.2;

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

Tabela 3.2 – Valores de ϕ em função da quantidade de blocos

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	≥ 18
ϕ	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

NOTA: Recomenda-se adotar $n \geq 13$

3.7.3 Análises Químicas

3.7.3.1 Caracterização de toxicidade dos blocos cerâmicos (Lixiviação e Solubilização)

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.

3.7.4 Análise Mineralógica

3.7.4.1 Difração de Raios-X (DRX)

O ensaio de DRX tem como finalidade analisar os respectivos difratogramas de raios-X do bloco cerâmico, antes e depois da queima. A análise dos minerais presentes foi determinada na fração argila, livre dos óxidos de ferro e a quantificação dos óxidos de ferro presentes nos blocos controle e blocos com a máxima porcentagem recomendada de incorporação de lodo.

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

Os ensaios de DRX foram realizados no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMPCAP) da UEM, utilizando-se o equipamento Shimadzu D6000, com fonte de Cu 40Kv e 30 mA, filtro de Níquel, num sistema completamente computadorizado.

3.7.5 Caracterização da mistura lodo/argila máxima recomendada

Após realização dos experimentos descritos anteriormente com a definição de máxima porcentagem de lodo incorporada a massa de argila, também foi feita a caracterização da mistura lodo/argila de acordo com o aspecto, pH, matéria orgânica total, massa específica e umidade

O Método Kiehl (1979) foi utilizado para determinação de umidade e matéria orgânica, o Método Embrapa (1979) para determinação do pH e NBR 6508:1984 para determinação da massa específica.

3.8 DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DE SABINE DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (RESSOADORES DE HELMHOLTZ) EM CÂMARA REVERBERANTE

Para determinar o valor dos coeficientes de absorção sonora de Sabine de um determinado material deve-se realizar o ensaio acústico conforme a ISO 354 (*Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003*). O ensaio deve ser aplicado em câmara reverberante, a qual tem as superfícies construídas de forma a maximizar o som refletido, com o intuito de gerar um campo difuso.

A norma ISO 354 de 2003 especifica o método que será utilizado, para a determinação dos coeficientes de absorção sonora de materiais acústicos em câmara reverberante. O princípio deste ensaio é medir-se a média do tempo de reverberação na câmara reverberante com e sem o material testado. A partir destes tempos de reverberação é calculada a área equivalente de absorção sonora usando a equação de Sabine.

O referido ensaio consiste em colocar uma amostra do material de interesse no piso da câmara reverberante e ser realizada a medição do tempo de reverberação, este tempo é denominado T_{60} . Após a medição, a amostra do material é retirada e um novo tempo de reverberação da câmara sem a amostra (T'_{60}), deve ser medido. E assim, os coeficientes de absorção sonora de Sabine da amostra são calculados por meio da Equação 3.2 (BISTAFA, 2006).

$$\alpha_{Sab} = 0,161 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{T_{60}} - \frac{1}{T'_{60}} \right) \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Em que:

“ α_{Sab} ” é o coeficiente de absorção sonora de Sabine,

“ V ” é o volume da câmara [m^3],

“ S ” é a área da amostra [m^2],

“ T_{60} ” é o tempo de reverberação com a amostra [s],

“ T'_{60} ” é o tempo de reverberação sem a amostra [s].

Segundo Bistafa (2006) a origem da Equação 3.2 é a aplicação da fórmula de Sabine duas vezes – com e sem a amostra no interior da câmara reverberante.

Para este trabalho, o cálculo dos coeficientes de absorção sonora foi realizado por meio de ensaios acústicos dos blocos cerâmicos acústicos em uma câmara reverberante em escala (1:5) no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada – LACAF da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). A câmara foi projetada para realização de ensaios não apenas de absorção sonora, mas também de coeficiente de espalhamento de superfícies. O software de avaliação acústica de salas, DIRAC[®] da Brüel & Kjaer foi utilizado para a determinação do tempo de reverberação.

Segundo Santos e Beroli (2008) no caso do projeto de câmara, a escala escolhida para os ensaios foi a de 1:5. Esta escolha baseou-se na faixa de captação de sinais dos microfones, na faixa de processamento dos sinais dos programas de medição a serem utilizados e que não poderiam ser superior a 20 kHz. Outro motivo é que 20kHz representa nessa escala 4kHz, sendo a maior banda de medição de 1/3 de oitava, considerada para expressar resultados dos parâmetros acústicos, segundo a ISO 3382:1997, ISO 354:1985 e ISO 17497:2004, e os coeficientes de absorção e espalhamento de uma superfície.

Ainda de acordo com Santos e Beroli (2008) segundo a norma de determinação de potência sonora ISO 3741:1994, a câmara reverberante exige frequências mínimas de medição, e a norma ISO 354:1985 recomenda para o volume de uma câmara reverberante em escala real próximo a 200 m^3 . A norma ISO 3741:1994 também indica que as dimensões da câmara (l_x , l_y e l_z) devem, preferencialmente, satisfazer algumas relações e que são apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Relações entre dimensões (lx , ly e lz) para uma sala retangular, segundo a norma ISO 3741:1994

ly / lx	lz / lx
0,83	0,47
0,83	0,65
0,79	0,63
0,68	0,42
0,70	0,59

Assim, Santos e Beroli (2008) adotaram as dimensões internas no projeto da câmara que foram de 1,20 m de largura (ly), 1,52 m de profundidade (lx) e 0,96 m de altura (lz), resultando nas relações de: $ly/lx = 0,79$ e $lz/lx = 0,63$. A partir destas dimensões, o volume da câmara em escala fica sendo de $1,75 \text{ m}^3$ o que em escala real representaria uma câmara de $218,9 \text{ m}^3$.

A relação entre a frequência na escala real (f_r) e a frequência do modelo em escala (f_m) é determinada pela Equação 3.3, em que n é o fator de escala.

$$f_r = f_m / n \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Nestas condições a faixa de frequência real de 500 a 20000 Hz, no modelo em escala corresponde a faixa de 100 Hz a 4000 Hz.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Os resultados das análises de caracterização do lodo misto encontram-se nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 – Características do lodo misto

PARÂMETROS	LODO
Aspecto	Levemente úmido
pH	7,7
Matéria Orgânica Total (%)	43,70
Umidade (%)	20,01
Massa Específica (g.cm ⁻³)	1,86

Observa-se que a mistura de lodo apresenta quantidades consideráveis de umidade e matéria orgânica, fato este que influencia diretamente na qualidade final do bloco cerâmico acústico incorporado com o resíduo, pois praticamente toda esta água e matéria orgânica presente, acaba sendo volatilizada no processo de queima dos blocos.

Tabela 4.2 – Concentração de metais no lodo misto

METAIS	(mg.kg ⁻¹)
Alumínio	180.380,00
Arsênio	705,00
Bário	65,00
Cádmio	20,00
Chumbo	240,00
Cobre	496,50
Cromo	129,50
Ferro	27.540,50
Manganês	5.014,00
Mercúrio	0,25
Prata	97,00
Selênio	n.d.
Sódio	10.785,70
Zinco	684,75

n.d. = não detectado

Nota-se na Tabela 4.2 que os elementos químicos alumínio, ferro e sódio são os metais que estão presentes em quantidades mais significativas no lodo misto. Provavelmente proveniente dos flocculantes (sulfato de alumínio e cloreto férrico) utilizados durante o processo de tratamento do efluente industrial, e o cloreto de sódio proveniente, provavelmente, do agente antifungo e do eletrólito utilizado no tingimento, que são utilizados durante o processo de produção têxtil.

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados dos métodos analíticos adotados de acordo com a NBR 10005:2004 para a obtenção do extrato lixiviado do lodo misto com as suas respectivas leituras pelo método de Espectrofotometria de Absorção Atômica (Métodos Chama, Gerador de Hidretos e Forno Grafite). Os resultados são comparados com os limites máximos de acordo com a NBR 10004:2004 (Anexo F).

Tabela 4.3 – Características tóxicas do lodo misto (ensaio de lixiviação)

Metais	(mg.L ⁻¹)	Valor de referência (mg.L ⁻¹) – NBR 10004:2004 (Anexo F)
Arsênio	n.d.	1,0
Bário	4,69	70,0
Cádmio	0,02	0,5
Chumbo	0,18	1,0
Cromo	0,04	5,0
Fluoreto	0,60	150,0
Mercúrio	6,8 x10 ⁻⁴	0,1
Prata	0,17	5,0
Selênio	n.d.	1,0

n.d. = não detectado

Verifica-se no ensaio de lixiviação que pelo fato de nenhum dos elementos químicos terem seus constituintes lixiviados acima do valor de referência do Anexo F da NBR 10004:2004 o resíduo pode ser classificado como não perigoso – Classe II.

Na Tabela 4.4 são apresentados os resultados dos ensaios analíticos adotados de acordo com a NBR 10006:2004, para a obtenção do extrato solubilizado do lodo misto com as suas respectivas leituras pelo método Espectrofotometria de Absorção Atômica (Métodos Chama, Gerador de Hidretos e Forno Grafite). Estes resultados também são comparados aos limites máximos estabelecido na NBR 10004:2004 (Anexo G).

Tabela 4.4 – Características tóxicas do lodo misto (ensaio de solubilização)

Metais	(mg.L ⁻¹)	Valor de referência (mg.L ⁻¹) – NBR 10004:2004 (Anexo G)
Alumínio	0,630	0,200
Arsênio	n.d.	0,010
Bário	0,210	0,700
Cádmio	0,017	0,005
Chumbo	0,190	0,010
Cloreto	289,531	250,000
Cobre	n.d.	2,000
Cromo total	n.d.	0,050
Ferro	1,556	0,300
Fluoreto	0,542	1,500
Manganês	7,336	0,100
Mercúrio	1,0 x 10 ⁻⁴	0,001
Nitrato (expresso em N)	13,549	10,000
Prata	0,121	0,050
Selênio	2,13x10 ⁻³	0,010
Sódio	459,321	200,000
Sulfato(expresso em SO ₄)	3623,724	250,000
Zinco	0,047	5,000

n.d. = não detectado

Com relação ao extrato solubilizado do lodo misto, os elementos químicos: alumínio, cádmio, chumbo, cloreto, ferro, manganês, nitrato, prata, sódio e sulfato, apresentaram valores acima dos limites máximos estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004, assim o resíduo apresentou-se como não inerte, determinando sua classificação como Classe II-A. Torna-se necessário, dessa forma, um tratamento adequado, como por exemplo, a técnica de solidificação/estabilização, possibilitando o seu reaproveitamento como matéria-prima secundária (subproduto), em quantidades pré-estabelecidas.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA CERÂMICA

Para a produção de cerâmica vermelha, o barro, como é popularmente chamada a argila cerâmica, é a principal matéria-prima. Sua caracterização é uma etapa fundamental nos processos industriais, principalmente para utilizar materiais adequados e conseqüentemente produzir produtos de boa qualidade para o mercado consumidor.

As Tabelas 4.5 e 4.6 apresentam os resultados da caracterização da argila cerâmica.

Tabela 4.5 – Caracterização da argila cerâmica

PARÂMETROS	ARGILA
Aspecto	Seco
pH	5,0
Matéria Orgânica Total (%)	5,33
Massa Específica (g/cm ³)	2,78
Umidade (%)	5,73

As características da argila dependem da sua formação geológica e da localização da extração. A argila estudada é proveniente da Bacia do Rio Ivaí, norte do estado do Paraná, onde predominam as rochas sedimentares, folhetos, arenitos e calcários (MINEROPAR, 2009).

O valor de pH da argila analisada ficou em torno de 5,0. De acordo com Thomas (1996) valores de pH do solo de 4,0 a 6,0, indicam a presença de alumínio trivalente em solos minerais e até em certos solos orgânicos.

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 (Al₂O₃), tende a aumentar a refratariedade da massa.

De acordo com Kaminata (2007) os óxidos de sódio (Na₂O) presentes na massa de argila geralmente na forma de feldspatos, são fundentes e conferem resistência mecânica, quando sinterizados entre 900 °C e 1000 °C, já os óxidos de manganês alteram apenas a cor da massa cerâmica para marrom. Os óxidos de ferro (Fe₂O₃) são responsáveis pela coloração vermelha ou amarela da 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.

Tabela 4.6 – Concentração de metais na argila cerâmica

METAIS	(mg/kg)
Alumínio	9.170,00
Arsênio	335,00
Bário	n.d.
Cádmio	14,00
Chumbo	155,00
Cobre	7,50
Cromo	2,00
Ferro	6.241,00
Manganês	415,50
Mercurio	0,02
Prata	68,50
Selênio	0,29
Sódio	882,80
Zinco	62,85

n.d. = não detectado

Outras características da argila cerâmica referem-se à distribuição do tamanho das partículas e os limites de consistência da argila utilizada para a fabricação dos blocos cerâmicos acústicos, ou seja, o limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP).

O termo consistência é utilizado para designar as manifestações das forças físicas de coesão entre partículas do solo, e de adesão entre as partículas e outros materiais.

Na Tabela 4.7 são apresentados os valores obtidos quanto à distribuição do tamanho das partículas e os limites de consistência da amostra da argila cerâmica.

Tabela 4.7 – Distribuição do tamanho das partículas e limites de consistência da argila cerâmica

PARÂMETRO	(%)
Argila (< 0,002mm)	50,0
Silte (0,002mm – 0,06mm)	30,0
Areia fina (0,06mm – 0,2mm)	28,0
Areia média (0,2mm – 0,6mm)	2,0
Limite de plasticidade (LP)	23,0
Limite de liquidez (LL)	57,0
Índice de plasticidade (IP)	34,0

Verifica-se um limite de liquidez (LL) de 57%, o que indica uma argila de alta compressibilidade, tornando a massa mais densa durante extrusão. De acordo com Campos et al. (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 à: LL variando de 26,5% a 71,6%, e IP variando de 4,0% a 47,7%. Na Figura 4.1 está representado o gráfico do resultado da classificação granulométrica, realizada na amostra de argila, conforme critérios estabelecidos na norma NBR 6508:1984.

A composição obtida com relação à distribuição do tamanho das partículas é adequada para a produção de blocos cerâmicos, pois com esta distribuição é possível produzir na prática, uma massa com grande capacidade de coesão após o umedecimento adequado, podendo proporcionar excelente moldagem dos blocos de forma a adquirir alta densidade durante a produção por meio de extrusão.

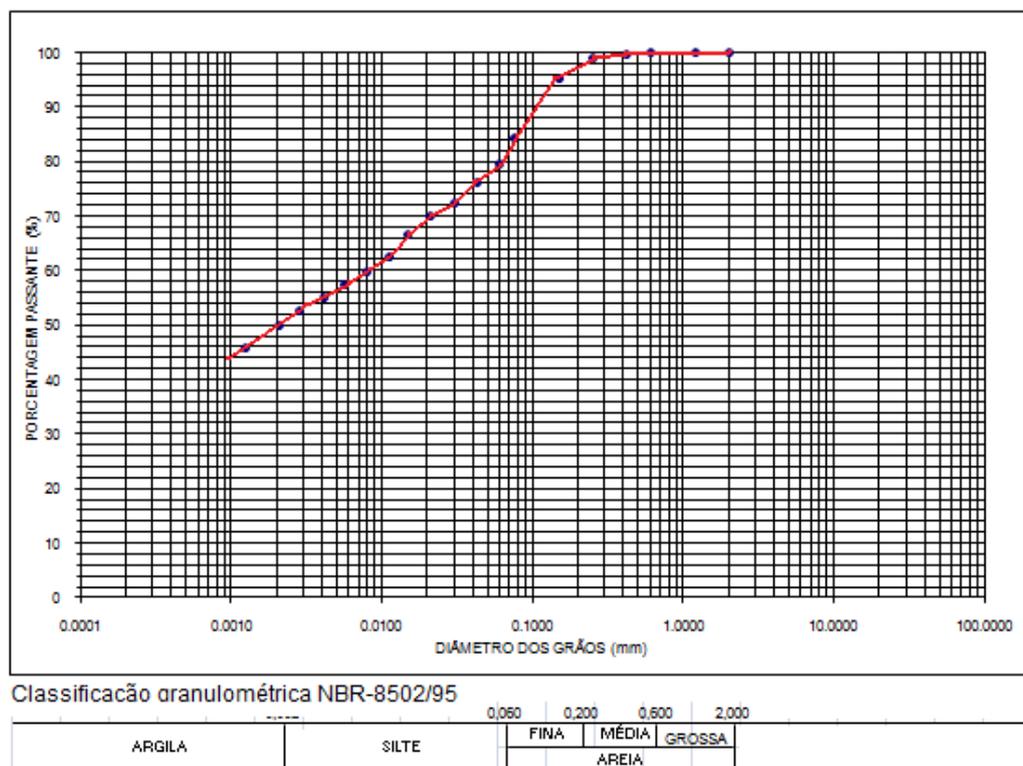


Figura 4.1 – Distribuição do tamanho das partículas da amostra de argila

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS

4.3.1 Análises físicas dos blocos cerâmicos acústicos

4.3.1.1 Características Geométricas

Os resultados das análises de características geométricas dos blocos cerâmicos acústicos produzidos encontram-se na Tabela 4.8. As Tabelas 4.9 e 4.10 indicam respectivamente os valores de variância e desvio padrão dos resultados.

Tabela 4.8 – Características geométricas dos blocos cerâmicos acústicos (n=20)

Características	Controle	5% lodo	10% lodo	15% lodo	20% lodo	25% lodo	30% lodo	35% lodo
Comprimento (mm)	65,1	65,0	64,8	64,5	64,1	63,7	63,3	63,1
Largura (mm)	39,2	39,1	39,0	39,0	38,8	38,7	38,5	38,2
Altura (mm)	38,3	38,2	38,1	37,7	37,4	37,1	36,7	36,5
Desvio de esquadro (mm)	0	0	0	0	0	1	1	1
Planeza das faces (mm)	0	0	0	0	0	1	1	1

Tabela 4.9 – Variância dos resultados das características geométricas dos blocos cerâmicos acústicos (n=20)

Características	Controle	5% lodo	10% lodo	15% lodo	20% lodo	25% lodo	30% lodo	35% lodo
Comprimento (mm)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Largura (mm)	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Altura (mm)	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04
Desvio de esquadro (mm)	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,02
Planeza das faces (mm)	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,02

Tabela 4.10 – Desvio padrão dos resultados das características geométricas dos blocos cerâmicos acústicos (n=20)

Características	Controle	5% lodo	10% lodo	15% lodo	20% lodo	25% lodo	30% lodo	35% lodo
Comprimento (mm)	0,10	0,10	0,14	0,14	0,14	0,17	0,17	0,20
Largura (mm)	0,10	0,14	0,10	0,10	0,14	0,14	0,14	0,17
Altura (mm)	0,14	0,17	0,14	0,17	0,14	0,20	0,20	0,20
Desvio de esquadro (mm)	0	0	0	0	0	0,10	0,14	0,14
Planeza das faces (mm)	0	0	0	0	0	0,10	0,14	0,14

Observa-se que com o aumento da quantidade incorporada de lodo, as dimensões finais (comprimento, largura e altura) dos blocos diminuem, isto acontece basicamente porque à medida que se incorpora mais lodo na massa de argila, indiretamente incorpora-se mais água e matéria orgânica, e estas substâncias são volatilizadas durante o processo de queima dos blocos.

Outro parâmetro é o desvio de esquadro e planeza das faces, pois estes dados estão relacionados com a qualidade final do bloco. O interessante é que os blocos tenham desvio zero de esquadro e planeza das faces, ou seja, a ausência de desvios ou irregularidades favorece o assentamento mais adequado dos blocos. Os valores de variância e desvio padrão pouco variaram de acordo com as formulações, observa-se um ligeiro aumento destes valores nas formulações acima de 25% de lodo.

4.3.1.2 Retração Linear

A Tabela 4.11 apresenta os resultados encontrados na determinação de retração linear, em todas as formulações produzidas.

Tabela 4.11 – Retração, em porcentagem, nas amostras de blocos cerâmicos acústicos (n=20)

DESCRIÇÃO	Controle	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
		lodo						
Comprimento (H)	6,73	6,88	7,16	7,59	8,17	9,03	9,31	9,60
Largura (L)	7,76	8,00	8,24	8,24	8,71	8,94	9,41	10,12
Altura (A)	9,88	10,12	10,35	11,29	12,00	12,71	13,65	14,12

De maneira geral, nota-se que a retração nas três dimensões aumenta a medida que se incorpora mais lodo misto de lavanderia industrial na massa de argila.

Na prática, uma vez que as camadas exteriores dos blocos 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 bloco representa, em alguns casos, a perda de água que é evaporada, mas fatores como, a composição da argila cerâmica e a quantidade de resíduo incorporada à massa cerâmica, influenciam no processo de retração linear.

Segundo informações de Indústrias Cerâmicas, quanto mais argila e menos areia, maior é a retração. Segundo Kaminata (2008) 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.

Vale ressaltar que as diferenças de área e comprimento do gargalo e de volume do ressoador dos blocos cerâmicos acústicos, provavelmente poderão influenciar nos valores de coeficientes de absorção sonora em algumas faixas de frequências sonoras.

4.3.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Na Figura 4.2 são apresentadas as análises de superfície por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV).

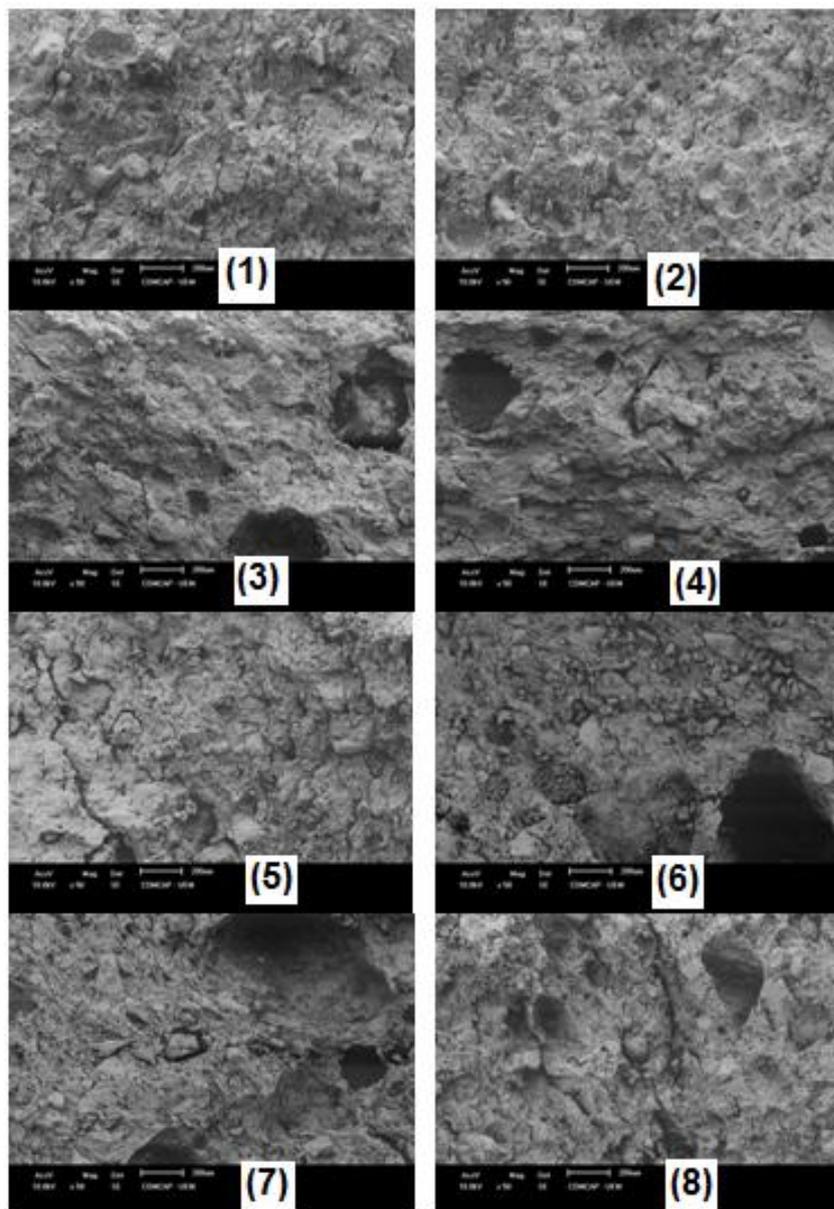


Figura 4.2 – Imagens obtidas pela MEV em estruturas de blocos cerâmicos acústicos (50X). Controle (1), com 5% de lodo (2), 10% de lodo (3), 15% de lodo (4), 20% de lodo (5), 25% de lodo (6), 30% de lodo (7) e 35% de lodo (8)

Verificam-se nas imagens obtidas com ampliação de 50 vezes, diferentes estruturas formadas nas amostras de blocos cerâmicos produzidos com 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 35% de lodo. A estrutura da massa cerâmica apresentou maior quantidade e diversidade de poros, à medida que se acrescentou o resíduo.

Notam-se também diferenças nas dimensões e quantidades de poros formados na amostra de blocos controle, 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.

4.3.1.4 Índice de Absorção de Água

Na Tabela 4.12 são apresentados os índices médios obtidos no ensaio de absorção de água. A Figura 4.3 ilustra graficamente os índices médios de absorção de água assim como os limites mínimos e máximos estabelecidos conforme NBR 15270-3:2005.

Tabela 4.12 – Índice de absorção médio de água nos blocos cerâmicos acústicos (n=20)

Identificação	Controle	5% lodo	10% lodo	15% lodo	20% lodo	25% lodo	30% lodo	35% lodo
Absorção de água (%)	9,40	7,71	10,23	11,48	14,45	21,49	23,30	26,13
Variância	0,91	0,13	0,33	0,38	0,95	0,12	0,12	0,08
Desvio Padrão	0,95	0,36	0,57	0,62	0,98	0,34	0,35	0,29

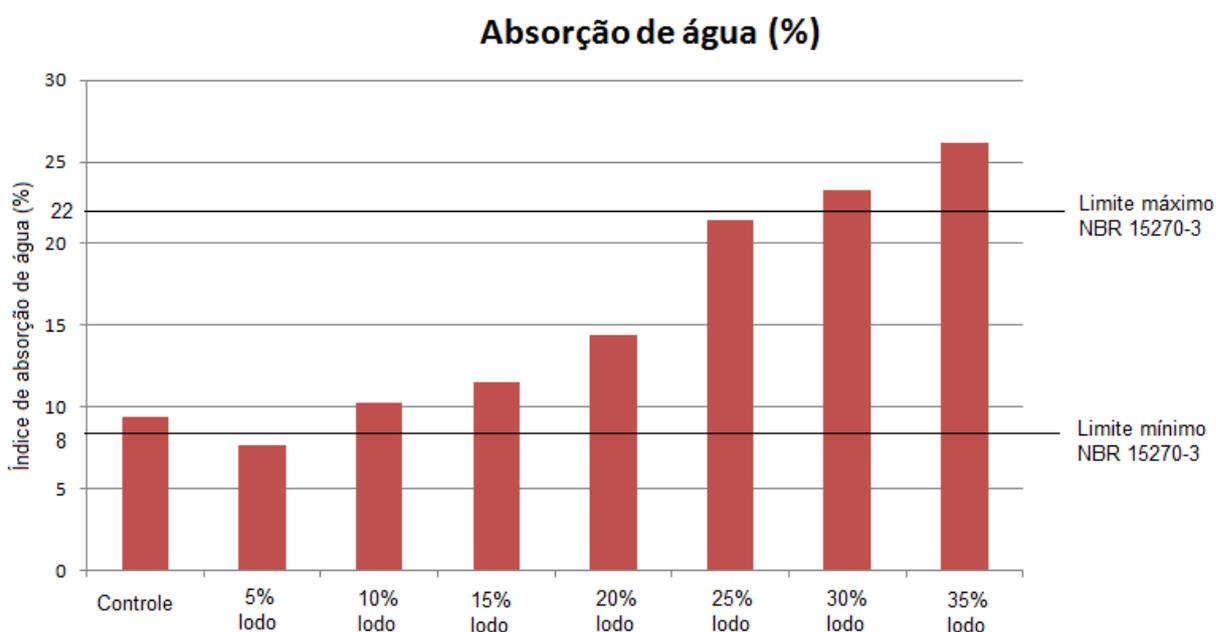


Figura 4.3 – Índice médio de absorção de água em amostras dos blocos cerâmicos (n=20)

Observa-se que as amostras de blocos cerâmicos incorporados com até 25% de lodo na argila, apresentaram índices de absorção de água dentro dos limites recomendados pela norma. No entanto, o valor da absorção de água para esse teor de lodo na massa cerâmica ficou muito próximo do limite máximo estabelecido por norma. Os blocos cerâmicos contendo 30% ou mais de lodo apresentaram resultados acima daquele limite de absorção de água máxima estabelecido pela norma.

O índice médio de absorção de água de 21,49% para o teor de lodo de 25% na massa cerâmica não é recomendado, pois é necessário adotar uma margem de segurança para materiais que são fabricados em escala industrial.

De acordo com o INMETRO (2006) paredes construídas com blocos cerâmicos com alto índice de absorção água, podem sofrer aumento de carga quando expostas à chuva, podendo acarretar problemas estruturais à construção.

4.3.2 Análise mecânica em blocos cerâmicos acústicos

4.3.2.1 Resistência característica à compressão dos blocos cerâmicos acústicos

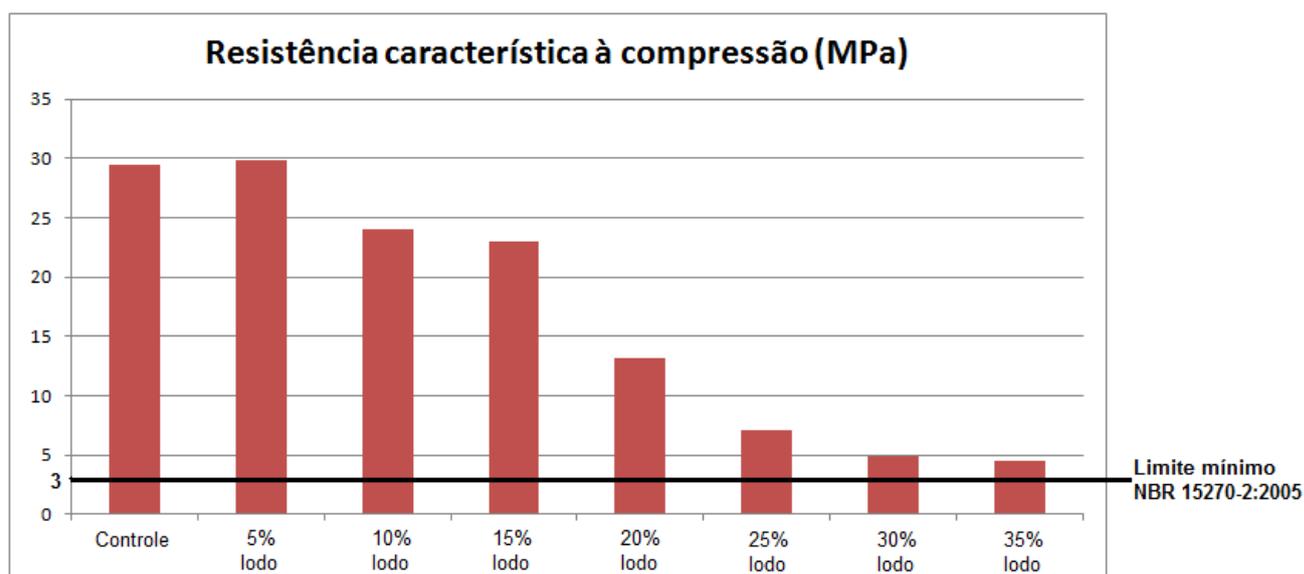
Nesse ensaio verificou-se a capacidade de carga, que os blocos cerâmicos acústicos de todas as formulações suportavam, quando submetidos à forças aplicadas na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego, ou seja, perpendicular ao comprimento e na face destinada ao assentamento.

As amostras de blocos cerâmicos acústicos, que possuem funções estruturais, devem atender ao requisito mínimo de 3,0 MPa, de acordo com a NBR 15270-2:2005. 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 4.13 estão apresentados os resultados dos ensaios de resistência característica à compressão dos blocos cerâmicos. A Figura 4.4 apresenta a evolução da resistência característica à compressão dos blocos, em função do teor de lodo incorporado à mesma.

Tabela 4.13 – Resistências características à compressão nos blocos cerâmicos acústicos (n=20)

Identificação	Controle	5% lodo	10% lodo	15% lodo	20% lodo	25% lodo	30% lodo	35% lodo
Resistência característica à compressão (MPa)	29,49	29,79	23,97	23,02	13,11	7,12	4,89	4,49
Variância	8,2	7,3	4,9	4,6	5,0	1,1	1,2	1,1
Desvio Padrão	2,9	2,7	2,2	2,2	2,2	1,1	1,1	1,0

**Figura 4.4 – Gráfico da resistência característica à compressão nos blocos cerâmicos acústicos**

Verifica-se que em todas as proporções utilizadas a resistência característica à compressão dos blocos cerâmicos acústicos produzidos atendeu aos limites mínimos especificados na NBR 15270-2:2005. Observa-se que com o aumento da incorporação de lodo houve uma tendência de redução dos valores da resistência à compressão, este comportamento pode ser associado ao aumento da porosidade formada na queima dos blocos cerâmicos acústicos, devido principalmente à volatilização da matéria orgânica e da água durante o processo de queima presente no lodo.

4.3.3 Análises químicas dos blocos cerâmicos acústicos (Análise de toxicidade)

As Tabelas 4.14 e 4.15 apresentam os resultados de espectrofotometria de absorção atômica dos extratos lixiviados e solubilizados, obtidos segundo a NBR 10005:2004 e NBR 10006:2004, respectivamente, para os blocos cerâmicos acústicos, produzidos nas formulações com incorporação de lodo até a quantidade máxima recomendada, após os

experimentos anteriores, que no caso foi de 20%, além dos blocos controle, fabricados somente com argila.

Tabela 4.14 – Características tóxicas dos blocos cerâmicos acústicos (ensaio de lixiviação)

Metais	Controle (mg/l)	5% de lodo (mg/l)	10% de lodo (mg/l)	15% de lodo (mg/l)	20% de lodo (mg/l)	Lim. Máx. (mg/l) – NBR 10004:2004 (Anexo F)
Arsênio	n.d.	0,36	n.d.	n.d.	0,32	1,0
Bário	0,66	0,44	0,49	0,38	0,66	70,0
Cádmio	0,087	0,011	0,008	0,005	0,006	0,5
Chumbo	0,15	0,11	0,11	0,11	0,14	1,0
Cromo	0,082	0,027	0,015	0,004	0,007	5,0
Fluoreto	n.d.	1,318	1,785	1,638	2,495	150,0
Mercúrio	$6,6 \times 10^{-3}$	$5,4 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-4}$	0,1
Prata	0,067	n.d.	0,014	0,015	0,037	5,0
Selênio	$8,6 \times 10^{-2}$	n.d.	1×10^{-4}	n.d.	n.d.	1,0

Por não ter lixiviado nenhum elemento acima do permitido relacionados no anexo “F” da NBR 10004:2004, Tabela 4.14, as amostras de todos os blocos cerâmicos acústicos estudados podem ser classificadas como não perigosas.

Tabela 4.15 – Características tóxicas dos blocos cerâmicos acústicos (ensaio de solubilização)

Metais	Controle (mg/l)	5% de lodo (mg/l)	10% de lodo (mg/l)	15% de lodo (mg/l)	20% de lodo (mg/l)	Lim. Máx. (mg/l) – Anexo G (NBR 10004:2004)
Alumínio	0,16	0,14	0,18	0,13	0,068	0,200
Arsênio	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,010	0,010
Bário	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,700
Cádmio	4×10^{-3}	4×10^{-4}	$2,18 \times 10^{-4}$	$1,35 \times 10^{-4}$	n.d.	0,005
Chumbo	$7,99 \times 10^{-3}$	$1,19 \times 10^{-3}$	$7,8 \times 10^{-4}$	$4,4 \times 10^{-4}$	$4,6 \times 10^{-4}$	0,010
Cloreto	0,634	1,024	1,241	0,937	1,067	250,000
Cobre	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2,000
Cromo total	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,050
Ferro	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,300
Manganês	0,051	9×10^{-3}	0,081	0,077	0,075	0,100
Mercúrio	$2,7 \times 10^{-4}$	2×10^{-5}	2×10^{-5}	4×10^{-5}	3×10^{-5}	0,001
Prata	0,006	0,039	0,042	0,039	0,035	0,050
Selênio	n.d.	n.d.	n.d.	$5,59 \times 10^{-3}$	n.d.	0,010
Sódio	6,7396	2,5022	2,5365	2,4089	2,8382	200,000
Sulfato (expresso em SO ₄)	8,421	51,196	62,415	48,205	132,017	250,000
Zinco	0,4784	0,1932	0,1498	0,0325	0,0185	5,000

Os extratos solubilizados das amostras de blocos cerâmicos acústicos não apresentaram elementos químicos solubilizados acima do limite estabelecido pelo anexo G da NBR 10004:2004, Tabela 4.15.

Assim os blocos cerâmicos acústicos apresentaram-se como inertes, ou seja, os elementos químicos presentes no lodo ficaram estabilizados na massa de argila dos blocos cerâmicos após a queima em forno de indústria cerâmica.

4.4 ANÁLISES MINERALÓGICAS DA ARGILA, DO LODO E DOS BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS

Nas Figuras 4.5 a 4.8 são apresentados os difratogramas de raios-X da fração argila cerâmica antes da queima, do lodo misto, do bloco cerâmico acústico controle e do bloco cerâmico acústico com incorporação de 20% de lodo.

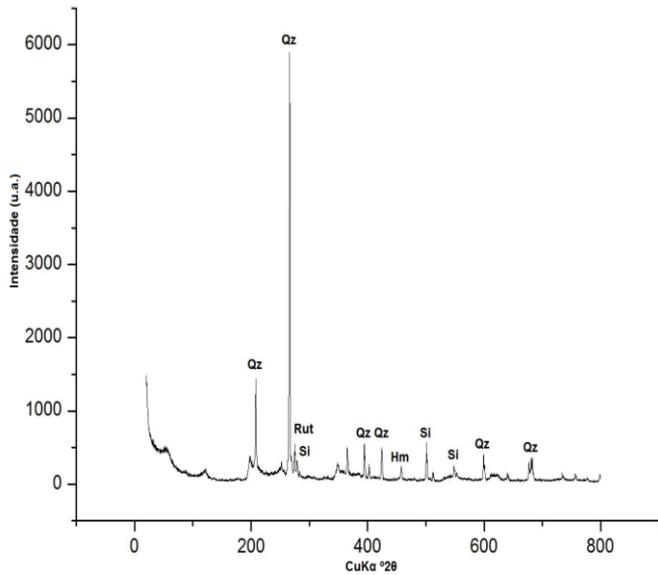


Figura 4.5 – Difração de raios-X (DRX) da argila

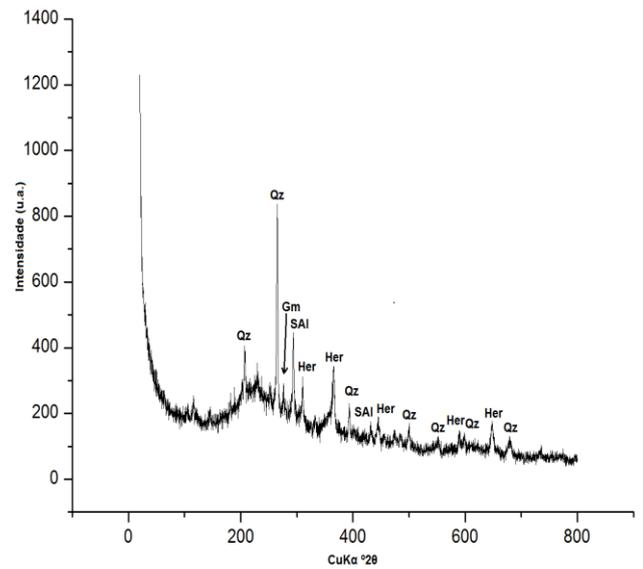


Figura 4.6 – Difração de raios-X (DRX) do lodo

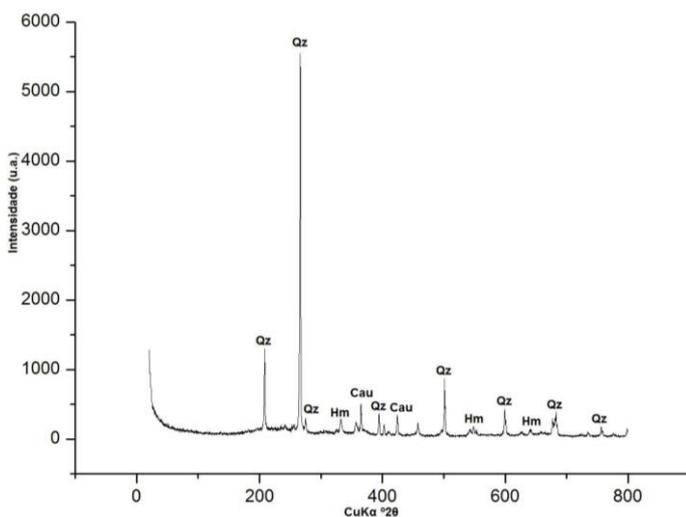


Figura 4.7 – Difração de raios-X (DRX) do bloco controle

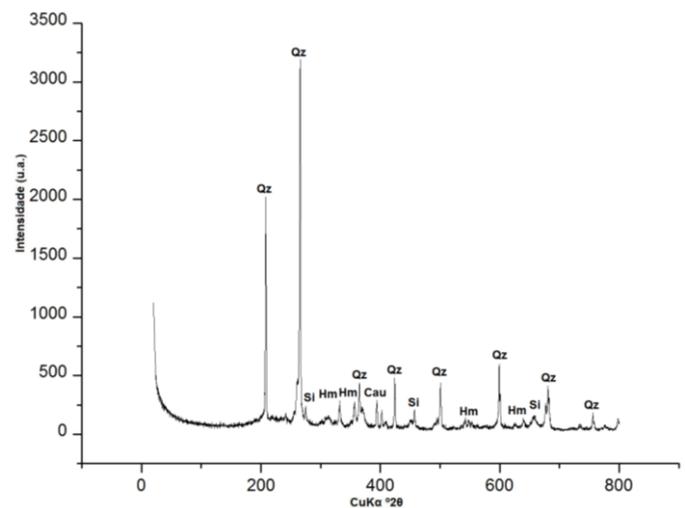


Figura 4.8 – Difração de raios-X (DRX) do bloco com incorporação de 20% de lodo

Observa-se nas Figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 a presença de quartzo (Qz) em quantidades consideráveis. Segundo Cortivo (2010) o mineral quartzo é o mais abundante do Planeta Terra. Possui estrutura cristalina trigonal composta por tetraedros de sílica (dióxido de silício), pertencendo ao grupo dos tectossilicatos. O quartzo é o principal componente na fabricação de vidros e melhora as propriedades das cerâmicas, como dureza e aspecto vítreo.

Outro mineral que merece destaque e que foi encontrado nas amostras de argila e dos blocos cerâmicos é a Hematita (Hm). Este mineral é do grupo das montmorilonitas (compostos por alumínio, magnésio e ferro, e algumas vezes cálcio e sódio). É muito plástica, e possui grande capacidade de retenção de água. A presença de óxidos e hidróxidos de ferro acima de certos limites propicia uma coloração vermelha ou avermelhada, característica das argilas de cerâmica vermelha. Também conhecidas como argilas expansivas devido a relativa facilidade com que variam de volume. No processo de queima dos blocos cerâmicos, a expansão de hematita proporciona rigidez à argila, aumentando a resistência à compressão dos blocos (SANTOS, 1989).

A Sílica (Si) também se destaca nas amostras estudadas e apresentadas nas Figuras 4.5, 4.7 e 4.8. O termo sílica refere-se aos compostos de dióxido de silício, SiO_2 , nas suas várias formas incluindo sílicas cristalinas; sílicas vítreas e sílicas amorfas. O dióxido de silício, SiO_2 , é o composto binário de oxigênio e silício mais comum, sendo inclusive composto dos dois elementos mais abundantes na crosta da Terra. A sílica e seus compostos constituem cerca de 60% em peso de toda a crosta terrestre. Os depósitos de sílica são encontrados universalmente e são provenientes de várias eras geológicas. A maioria dos depósitos de sílica que são minerados para obtenção das "areias de sílica" consiste de quartzo livre, quartzitos, e depósitos sedimentares como os arenitos.

Foi identificado ainda o mineral Rutilo (Rut) na amostra de argila, os minerais Hercynite (Her), Gmelinite (Gm) e Silicato de Alumínio (SAI) na amostra de lodo, e o mineral Caulinita (Cau) nas amostras dos blocos cerâmicos acústicos.

4.5 ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS (TGA) DA ARGILA, DO LODO E DA MISTURA (ARGILA + 20% DE LODO MISTO)

As curvas de perda de massa, referentes à análise termogravimétrica da argila, da mistura argila com 20% de lodo, e do lodo de lavanderia industrial, são apresentadas na Figura 4.9.

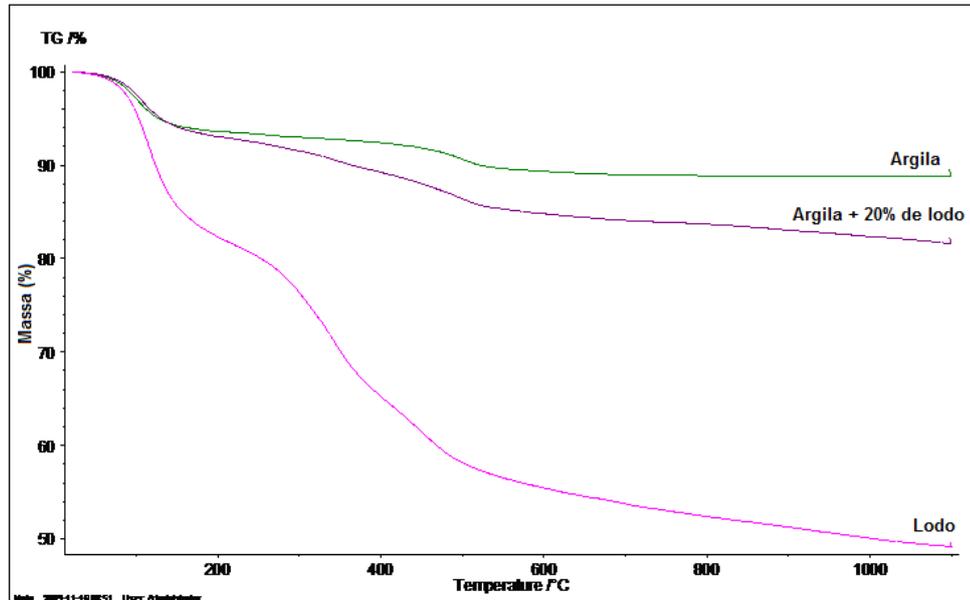


Figura 4.9 – Gráfico da perda de massa obtida pela análise termogravimétrica

Observa-se na Figura 4.9 que com uma massa mínima inicial de 60 mg, as 3 amostras até à temperatura de 1100 °C tiveram comportamentos bem diferentes.

Após a temperatura atingir 110 °C a massa de argila manteve-se praticamente estável até 420 °C. Após esta temperatura ocorre a eliminação da água coloidal das partículas de argila, e sua massa foi reduzida de forma levemente acentuada até atingir a temperatura de 500 °C. Esta fase também corresponde à combustão da matéria orgânica e a perda de água por desidroxilação, bem característico de argilominerais caulinita, mantendo-se a massa praticamente estável até a temperatura de 1100 °C, reduzindo então, sua massa total em 9%.

O lodo misto apresentou uma redução de sua massa mais acentuada em relação à argila, no intervalo de variação de temperatura estudado. Até atingir 110 °C há perda de água superficial das partículas de resíduo, reduzindo de forma acentuada até 270 °C, ocorrendo nesta fase, provavelmente, perda de água higroscópica das partículas de resíduo, reduzindo a massa de forma muito acentuada até 650 °C, havendo, provavelmente, combustão e volatilização da matéria orgânica, obtendo a 1100 °C uma redução da massa total em 55 %.

A amostra de argila cerâmica incorporada com 20% de lodo apresentou redução total de massa de 15%. Estes resultados mostram que a incorporação do resíduo à argila não leva a uma perda de massa significativa, evidenciando a formação de uma massa estável e indicada para a confecção de blocos cerâmicos.

4.6 CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA: ARGILA COM A QUANTIDADE MÁXIMA DE LODO RECOMENDADA

Os resultados de caracterização da mistura argila, com a incorporação de 20% de lodo encontram-se na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Caracterização da mistura (argila + 20% de lodo)

PARÂMETROS	ARGILA
Aspecto	Seco
pH	5,5
Matéria Orgânica Total (%)	12,69
Massa Específica (g/cm ³)	2,60
Umidade (%)	8,46

Observa-se que a mistura de argila com a incorporação de 20% de lodo apresenta aproximadamente 12,7% de matéria orgânica e 8,5% de umidade, fatos estes que influenciam diretamente na qualidade final do bloco cerâmico acústico incorporado com o resíduo, porém não são quantidades que inviabilizaram tecnicamente a confecção de blocos cerâmicos acústicos.

4.7 COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DOS BLOCOS RESSOADORES DETERMINADOS EM CÂMARA REVERBERANTE

Na Tabela 4.17 estão apresentadas as médias dos tempos de reverberação obtidos na câmara reverberante em escala reduzida em 1:5 (Figura 4.10), com e sem os painéis de blocos cerâmicos acústicos. Foram montados dois painéis, sendo um painel formado somente com blocos cerâmicos acústicos controle e outro painel somente com blocos cerâmicos com incorporação de 20% de lodo. Os painéis foram montados com a vedação das juntas e das laterais e medidos seus coeficientes de absorção sonora na câmara reverberante em escala reduzida (Figuras 4.11 e 4.12).



Figura 4.10 – Câmara reverberante em escala reduzida 1:5



Figura 4.11 – Montagem do painel de blocos cerâmicos acústicos com a vedação das juntas



Figura 4.12 – Painel de blocos cerâmicos acústicos com a vedação das laterais prontos para obtenção dos tempos de reverberação

Tabela 4.17 – Tempos de reverberação obtidos na câmara reverberante

Frequência [Hz]	Tempo de reverberação médio (s)		
	Sem painel (T'_{60})	Com painel de blocos cerâmicos controle (T_{60})	Com painel de blocos cerâmicos com incorporação de 20% de lodo
100	0,534	0,352	0,340
125	0,561	0,436	0,380
160	0,687	0,725	0,625
200	0,703	0,546	0,550
250	0,666	0,548	0,584
315	0,736	0,555	0,558
400	0,883	0,687	0,685
500	0,883	0,719	0,721
630	1,046	0,779	0,773
800	1,216	0,593	0,609
1000	1,290	0,580	0,574
1250	1,362	0,681	0,650
1600	1,295	0,742	0,691
2000	1,240	0,823	0,800
2500	1,169	0,859	0,834
3150	1,112	0,833	0,785
4000	1,030	0,820	0,783
5000	0,892	0,761	0,736
6300	0,659	0,565	0,555
8000	0,568	0,473	0,448
10000	0,559	0,480	0,452
12500	0,487	0,429	0,404
16000	0,401	0,351	0,334
20000	0,317	0,289	0,273

Conforme já descrito o coeficiente de absorção é calculado por meio da Equação 3.2 (BISTAFA, 2006).

$$\alpha_{Sab} = 0,161 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{T_{60}} - \frac{1}{T'_{60}} \right) \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Levando-se em consideração o volume (V) de 1,75 m³ da câmara reverberante em escala e a área superficial (S) de 0,48 m², têm-se na Tabela 4.18 os coeficientes de absorção

sonora da Sabine (α_{Sab}) dos blocos cerâmicos acústicos controle e dos blocos cerâmicos com a incorporação de 20% de lodo, ambos em escala reduzida em 1:5.

Tabela 4.18 – Coeficientes de absorção sonora de Sabine em escala reduzida 1:5

Coeficiente de absorção sonora de Sabine		
Frequência [Hz]	Painel de blocos cerâmicos controle	Painel de blocos cerâmicos com incorporação de 20% de lodo
100	0,56	0,61
125	0,29	0,51
160	-0,05	0,09
200	0,24	0,24
250	0,19	0,13
315	0,26	0,26
400	0,18	0,20
500	0,15	0,15
630	0,19	0,21
800	0,50	0,49
1000	0,55	0,58
1250	0,42	0,49
1600	0,33	0,41
2000	0,24	0,27
2500	0,18	0,21
3150	0,17	0,23
4000	0,14	0,19
5000	0,11	0,14
6300	0,14	0,17
8000	0,20	0,29
10000	0,17	0,25
12500	0,16	0,25
16000	0,20	0,30
20000	0,18	0,31

Para se determinar os valores do coeficiente de absorção de Sabine dos blocos cerâmicos acústicos em escala real pode-se multiplicar os valores das frequências pela escala do bloco reduzido, por exemplo, a frequência de 500Hz dos blocos cerâmicos em escala reduzida 1:5 equivale a frequência de 100Hz dos blocos cerâmicos acústicos em tamanho real.

Isto ocorre, pois há relação entre a frequência na escala real (f_r) e a frequência do modelo em escala (f_m) representada na Equação 3.3:

$$f_r = f_m/n \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Assim, têm-se na Tabela 4.19 e na Figura 4.13 os coeficientes de absorção sonora de Sabine dos blocos em escala real.

Tabela 4.19 – Coeficientes de absorção sonora de Sabine dos blocos em escala real

Coeficiente de absorção sonora de Sabine (α_{Sab})			
Frequência [Hz]	Painel de blocos cerâmicos controles	Painel de blocos cerâmicos com incorporação de 20% de lodo	
100	0,15		0,15
125	0,19		0,21
160	0,50		0,49
200	0,55		0,58
250	0,42		0,49
315	0,33		0,41
400	0,24		0,27
500	0,18		0,21
630	0,17		0,23
800	0,14		0,19
1000	0,11		0,14
1250	0,14		0,17
1600	0,20		0,29
2000	0,17		0,25
2500	0,16		0,25
3150	0,20		0,30
4000	0,18		0,31

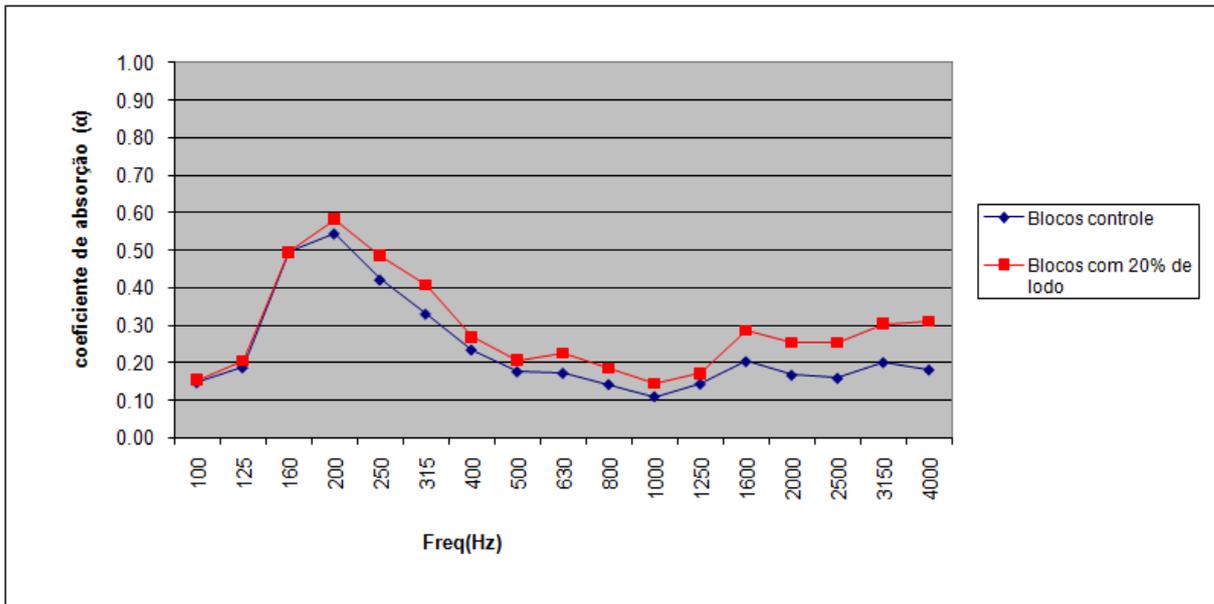


Figura 4.13 – Gráfico dos coeficientes de absorção sonora de Sabine dos blocos na escala real

Verifica-se na Tabela 4.19 e na Figura 4.13 que de forma geral os blocos cerâmicos acústicos produzidos com a incorporação de 20% de lodo apresentaram valores maiores dos coeficientes de absorção sonora de Sabine, este fato provavelmente está associado a uma maior presença de poros nestes blocos. Os poros foram formados pela volatilização durante o processo de queima de aproximadamente 12,69% da matéria orgânica e 8,46% da umidade, que estavam presentes no bloco cerâmico passado pelo processo de extrusão. Já em relação aos blocos cerâmicos controle os índices são de 5,33% de matéria orgânica e 5,73% de umidade.

No dimensionamento do bloco, Lisot (2008) buscou formar um conjunto de uma passagem de ar suficientemente longa associada a um volume de ar interno que atendesse a necessidade citada anteriormente.

Levando-se em consideração que Lisot (2008) adotou a forma do ressoador de Helmholtz (bloco cerâmico acústico) tendo em vista a necessidade de, no cálculo da frequência de oscilação, atingir-se um valor entre 125 e 250Hz, podemos verificar que o objetivo foi atingido, já que este importante fato está relacionado aos picos dos valores do coeficiente de absorção sonora na frequência de 200Hz atingindo valores de 0,55 e 0,58, para o painel de blocos cerâmicos controles e de blocos cerâmicos com incorporação de 20% de lodo, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

O resíduo lodo misto estudado e caracterizado foi classificado segundo a NBR 10004:2004 como não perigoso e não inerte (Classe II-A), de acordo com a concentração de elementos químicos lixiviados e solubilizados presentes na amostra do resíduo.

De acordo com a caracterização da argila cerâmica, a matéria-prima foi considerada apropriada para a produção de blocos cerâmicos, principalmente pela distribuição do tamanho das partículas, onde havia uma concentração adequada de silte e argila.

Com relação à resistência característica à compressão, os blocos cerâmicos acústicos fabricados em todas as formulações, apresentaram valores acima do mínimo exigido pela norma que é de 3,0 MPa.

De acordo com o ensaio de absorção de água dos blocos, a produção de blocos até a incorporação máxima de 25%, com exceção do bloco com incorporação de 5% de lodo, apresentou-se dentro dos limites estabelecidos nas normas vigentes, no entanto, é interessante observar que a proporção máxima de 20% levou à obtenção de um produto com maior garantia de qualidade técnica, e assim, esta formulação foi considerada a máxima recomendada.

Em relação aos resultados dos ensaios químicos de lixiviação e solubilização dos extratos dos blocos cerâmicos acústicos produzidos em escala 1:5, com incorporação de 5%, 10%, 15% e 20% de lodo misto de lavanderia têxtil, ficou comprovada a estabilização dos metais estudados constituintes do resíduo na massa argilosa. Os resultados mostraram que as concentrações de metais nos extratos lixiviados e solubilizados dos blocos cerâmicos, estão abaixo dos limites definidos pelos anexos F e G da NBR 10004:2004 da ABNT.

Pela Análise Termogravimétrica (TGA) ficou evidente que o material formado de argila cerâmica com a incorporação de 20% de lodo apresentou uma redução total de massa de aproximadamente 15%. Assim, a mistura formou uma massa estável e indicada para a confecção de blocos cerâmicos.

Pelas análises de superfície utilizando a microscopia eletrônica de varredura foi notada uma quantidade e variedade maiores de poros nos blocos cerâmicos confeccionados à medida que os mesmos foram fabricados com quantidade maior de lodo misto incorporado. A quantidade de poros está diretamente relacionada à resistência a compressão e ao índice de absorção de água, ou seja, quanto maior a quantidade de poros, menor será a resistência a compressão e maior será o índice de absorção de água.

Foram determinados os coeficientes de absorção sonora no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (LACAF) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP),

onde se notou que a incorporação de 20% de lodo na massa de argila, em relação à argila e considerando a massa seca de ambos os materiais, resultou de uma maneira geral em coeficientes de absorção sonora maiores com relação aos coeficientes de absorção sonora dos blocos controle para as frequências estudadas. Como já citado anteriormente, o fato de uma maior quantidade e variedade de poros terem sido formados durante a queima dos blocos com incorporação do lodo, contribui para obtenção de coeficientes de absorção sonora maiores.

Enfim, conclui-se que a incorporação de 20% lodo misto na matriz de argila para confecção de blocos cerâmicos acústicos não comprometeu a qualidade técnica do material, já que de acordo com os ensaios físicos, mecânicos e geométricos, os blocos estiveram dentro dos limites permitidos de acordo com as normas vigentes. Além disso, o bloco cerâmico apresentou de uma forma geral coeficientes de absorção sonora maiores que os blocos controle.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar o estudo de viabilidade econômica.
- Realizar análise de incertezas na aplicação do tijolo acústico em função das diferenças de medida dos tijolos em função do processo de fabricação.
- Desenvolver uma técnica otimizada para abrir a cavidade dos ressoadores, buscando produzir blocos acústicos já com a abertura da cavidade.
- Incorporar outros tipos de resíduos no bloco acústico, como por exemplo, gesso e outros tipos de lodo, avaliando tecnicamente os resultados de caracterização.
- Comparar os resultados de resistência característica à compressão de blocos cerâmicos em escala reduzida com blocos cerâmicos em escala real, avaliando qual a relação proporcional direta entre eles.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. H. S. **Processo de solidificação/estabilização de lodo têxtil em matriz de argila: influência do tipo de argila**. 2009. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2009.

AMPESSAN, S. B. **Solidificação/Estabilização de Lodo da Indústria de Couro em Material Cerâmico**. 2004. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2004.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/manuais/bloco.rtf>>. Acesso em: 20 de jun. 2009.

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

_____. **NBR 6508**: Massa específica dos grãos - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

_____. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

_____. **NBR 7181**: Análise granulométrica por peneiramento/sedimentação - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

_____. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

_____. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

_____. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

_____. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

_____. **NBR 10151** – Avaliação do ruído ambiente em recintos de edificações visando o conforto dos usuários, Brasil, 1987.

_____. **NBR 12179** (NB-101) – Norma para tratamento acústico em recintos fechados, Brasil, 1992.

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-3**: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

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

BARBOSA, T. **A evolução dos tratamentos de águas residuais das indústrias têxteis**. 1999. Monografia (Especialização em Controle e Gestão Ambiental), Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 1999.

BERTULANI, C. A. – “*Ondas Sonoras*”. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/ondas2/ondas2.html>>. Acesso em: 12 de nov de 2008

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

BITENCOURT, M. P. de. **Reaproveitamento do Lodo Gerado no Processo de Tratamento dos Efluentes de Lavanderia (Tingimento e Lavagem)**. 2002. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

BLUEPOINT Ambiental. Disponível em <http://www.bluepointambiental.com.br/>. Acesso em: 10 de jan de 2010.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**, CETESB, São Paulo, 1979. 764 p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**, v.34. São Paulo, Environmental Science & Technology. 1993.

BRASIL. **Decreto** nº. 3.179 de 21 de setembro de 1999. Dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

BRASIL. **Lei** nº. 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

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

CAMPOS, R. E. **Real e Virtual**. Disponível em: <[http://www.audiodicas.com.br/jornal_1/jornal_96 .htm](http://www.audiodicas.com.br/jornal_1/jornal_96.htm)> Acesso em: 10 fev 2009.

CAMPOS, J. O.; BRAGA, R; CARVALHO, P. F. **Manejo de resíduos: pressuposto para a gestão ambiental**. Laboratório de planejamento experimental – DEPLAN – IGCE. UNESP, 2002.

CAVALCANTE J. R.; CHERIAF M. Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. **In: Workshop "RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO"**. ANTAC, São Paulo, Brasil: 31- 38. 1996.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Resíduos sólidos industriais**. 2ª ed. rev. ampl. São Paulo: 233p. 1993.

CINCOTTO, M. A. 1989 “**Utilização de subprodutos na indústria da construção civil.**” Florianópolis, SC, pg. 171-181. Simpósio de desempenho de Materiais e componentes de construção civil.

CORTIVO, N. D. Materiais Cerâmicos – Conceito. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/nelvio/materiais/Aula_5_a_CMT.pdf> Acesso em: 06 jan. 2010.

CRUNELLE, M. **Acoustic history revisited**. Disponível em: <www.sial.rmit.edu.au/Projects/File/Acoustic%20History%20Revisited.pdf>. Acesso em: 12 dez 2008.

D’ALMEIDA, M. L. O. e VILHENA, A. (Coord.) **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado** – 2ª ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

DÍAZ, C., PEDRERO A. The reverberation time and equivalent sound absorption area of rooms in dwellings. **NOISE & VIBRATION WORLDWIDE**, v. 38, n. 6, p. 12-20(9), jun. 2007.

Dirac Room Acoustics Software. Type 7841 Version 3.1[®]. Brüel & Kjær.

DUARTE, A. da C. L., **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para a disposição final do resíduo**. 2008. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

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.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Eds: Wagner Bettiol e Otávio A. Camargo, São Paulo. 2000. 312p.

GORINI, A. P. F. **Panorama do setor têxtil no Brasil e no mundo: reestruturação e perspectiva**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 12, 2000, p. 17-50.

HASSEMER, M. E. N. **Oxidação fotoquímica – UV/H₂O₂ – para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil**. 2006. Tese (Doutorado), UFSC, 2006.

HENRIQUE, L. L. **Acústica Musical**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002.

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

IBGE. **Contas Nacionais**. Rio de Janeiro, 1998.

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

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 354**. Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003.

ISO 3741:1999, **Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure** – Precision method for reverberations rooms.

KAMINATA, O. T. **Aproveitamento do lodo gerado no tratamento de efluente da indústria de lavanderia têxtil na produção de bloco de cerâmica vermelha**. 2008. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

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

KNIRSCH, J. **Qual a melhor sala para ouvir música?** Disponível em: <<http://www.byknirsch.com.br/artigos-06-01-salaviva1.shtml>> Acesso em: 11 nov. 2008.

KNUDSEN, V. O.; HARRIS, C. M., **Acoustical Designing in Architecture**. Ed. American Institute of Physics for the Acoustical Society of America, 1978.

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

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

LISOT, A. **Ressonadores de Helmholtz em barreiras acústicas: Avaliação do desempenho na atenuação do ruído de tráfego**. 2008. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

LORA E. E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. Brasília: ANEEL. ISBN: 85-87491-04-0. 2000.

MAIA, P. A. **Estimativa de exposições não contínuas a ruído**. Campinas: FUNDACENTRO, 2002.

MARCO, C. S. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1986.

MARTINS, G. B. H. **Práticas limpas aplicadas às indústrias têxteis de Santa Catarina**. 1997, 95 p. Dissertação de M.Sc., UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 1997.

MELO, L. C. A. **Caracterização físico-química e comparação de métodos de digestão de resíduos orgânicos**. 2007, 84p. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2007.

MENDES M. R. **Desenvolvimento de agregados leves a partir de subproduto da mineração de carvão e de lodo de estação de tratamento de efluentes de indústria têxtil**. 1998. Monografia (Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. Indústria da Cerâmica Vermelha. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/09_relatorios_concluidos.PDF> Acesso em: 16 jul. 2009.

NAVACHI, J. A. **Reutilização dos efluentes tratados: caso de uma lavanderia industrial**. 2002. Dissertação M. Sc. Universidade Regional de Blumenau, Blumenau SC, 2002.

NEIL J. M., JEFF C. H. e JOHN R. H. **Pollution effects of waste water sludge application to sandy soils with particular reference to the behavior of mercury**. Applied Geochemistry. 12, p. 321-325. 1997.

NUVOLARI, A. **Inertização de lodo de esgoto em tijolos cerâmicos maciços: Aspectos tecnológicos e ambientais**. 2002. 261f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

OLIVEIRA, A. C. M., 1980, “**Matérias primas e Insumos Industriais**”; Situação atual e perspectivas, Rio de Janeiro, Confederação das Indústrias, 425 p.

OLIVEIRA, D. M.; CASTILHOS JR., A. B. e NICOLETTI, A. **Classificação de Resíduos Industriais (NBR 10.004): uma ferramenta para o gerenciamento de resíduos da indústria petrolífera**. Anais do 22º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental: Saneamento Ambiental, Ética e Responsabilidade Social. Joinville, Brasil. 2003.

PINTO, C. A. **Estudo da estabilização por solidificação de resíduos contendo metais pesados**. 2005. 229f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo, 2005.

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

RAMOS, F. M. S. **Tratamento de resíduos sólidos da indústria têxtil**. 2009. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

REMY, Nicolas. **Acoustique des salles**. École d'architecture de Grenoble. Disponível em: <www.grenoble.archi.fr/enseignement/cours/remy/L5C/06-acoustique_salle01.pdf> Acesso em: 04 dez 2008.

ROSA, E. V. C. da. **Reaproveitamento de lodo têxtil em solo florestal: estudos dos aspectos físicos-químicos, agrônômicos, e ecotoxicológicos**. 2004. 139 f. Tese (Doutorado em Química) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Reciclagem de Biossólidos: Transformando problemas em soluções**. Ed. Andreóli C.V. e Aderlene I. L. Curitiba, PR, 288p. 1999.

SANTOS, Christian dos; BEROLI, Stelamaris R. Construção de câmara reverberante em escala para realização de ensaios acústicos. In: **VI Congresso Iberoamericano de Acústica – FIA, 2008. Buenos Aires**.

SANTOS, J. L. P. dos. **Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005.

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

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via Processo Fenton**. 2005. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica & condicionamento de ar**. 4ª edição. Belo Horizonte: EDTAL – Empresa Acústica Ltda., 2002.

SOUZA, L. C. L. de; ALMEIDA, M. G. de; BRAGANÇA, L. **Bê-a-ba da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos: EdUFSCar, 2006.

THOMAS, G. W. **Soil pH and Soil Acidity**. In: **Methods of Soil Analysis**. Part 3. Chemical Methods, Soil Science Society of America, Book Series n. 5, p. 475-490, 1996.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA/68-W-99-033. **A Compendium of Chemical, Physical and Biological Methods for Assessing and Monitoring the Remediation of Contaminated Sediment Sites**. Duxbury, 2003.

VITRÚVIO. **The ten books on architecture**. New York: Dover Publications Inc., 1960, livro V, capítulo V apud CRUNELLE, M. **Acoustic history revisited**. Disponível em: <www.sial.rmit.edu.au/Projects/File/Acoustic%20History%20Revisited.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2008.

XISTOQUIMICA **Imobilização e aproveitamento de rejeitos industriais sólidos**. Disponível em: <<http://www.xistoquimica.ufrj.br/imobilização.htm>> Acesso em: 12 dez. 2008

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](#)