

TALITA NATÁLIA FERRARI

**INCORPORAÇÃO DO LODO DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA (ETAII) DO MUNICÍPIO DE
RIO CLARO-SP, NA ARGILA, PARA PRODUÇÃO DE
CERAMICA VERMELHA**

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de
Formatura do Curso de Graduação em Engenharia
Ambiental do Instituto de Geociências e Ciências
Exatas – Unesp, Campus de Rio Claro (SP), como
parte das exigências para o cumprimento da disciplina
Trabalho de Formatura no ano letivo de 2007.*

Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

Rio Claro (SP)
2007

TALITA NATÁLIA FERRARI

INCORPORAÇÃO DO LODO DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA (ETAII) DO MUNICÍPIO DE
RIO CLARO-SP, NA ARGILA, PARA PRODUÇÃO DE
CERAMICA VERMELHA

ORIENTADOR: RODRIGO BRAGA MORUZZI

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” - Campus de Rio Claro, para obtenção do
grau de Engenheira Ambiental.*

Rio Claro - SP
2007

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e a minha irmã, pela confiança e incentivo em todas as fases da minha formação.

Ao Prof. Rodrigo B. Moruzzi, pela orientação, e como profissional um exemplo a ser seguido.

Aos Profs. Roberto Naves, Sebastião Gomes de Carvalho, Antenor Zanardo, Antonio José Ranalli Nardy e a Maria Margarita Torres Moreno, por esclarecerem as minhas dúvidas, e pelo incentivo financeiro.

Ao DAEE de Rio Claro, por nos fornecer dados a respeito da tratamento de água e permitir a coleta do lodo nas lagoas.

Aos técnicos de laboratório Leandro e Alan, por me ajudar no momento mais delicado do trabalho, a execução das análises.

Ao João e a Profa. Gilda Carneiro Ferreira por me fornecer às amostras de argila e os relatórios técnicos.

À Luciana do Carmo pela amizade e por me acompanhar na louca coleta de lodo.

À Renata, pela hospedagem 5 estrelas, paciência e revisão de parte do meu trabalho.

À Mônica e a Paloma, que apesar de tentarem me levar para balada em momentos de concentração, me fizeram dar risada quando eu deveria chorar, além de me receberem de braços abertos na Tississinguabe.

À Gabi e ao Cesinha pelo esclarecimento de dúvidas e por tornar o ambiente de trabalho mais descontraído.

Aos grandes amigos conquistados nesses cinco anos:

Às milhas, Carlinha e Silvia, aos vizinhos da Rep. Caenga, Rolhinha, Mineiro, Calango, Chico e Puff. Ao pessoal da sala, Dani, Marissa, Pira, Gaúcho, Kazuo, Topete, Gagá, Thaís, Gutão e Carol. Aos integrantes das Reps Enrosco, Manicômio e Cabeças.

Obrigada,

Pela baladas, cervejas, viagens, conversas, campos, aulas.....risadas.

VALEU GALERA!!!

RESUMO

O resíduo gerado nos decantadores das Estações de Tratamento de Água (ETAs), possui composição variada, de acordo com a região onde está localizada, coagulante utilizado, layout da estação e aspectos sazonais. Neste trabalho foi feita a caracterização física lodo gerado na ETAII do município de Rio Claro, SP, a confecção de corpos de prova da mistura lodo-argila (com umidade de 8% e concentrações de lodo de 5, 15 e 30% em massa) e a realização de ensaios tecnológicos na mistura após queima à temperatura de 950°C. O objetivo principal foi avaliar a possibilidade da utilização do lodo como matéria-prima na produção de cerâmica vermelha. Para comparação com os resultados obtidos, foram utilizados resultados de ensaios tecnológicos de corpos de provas somente com argila, preparados nas mesmas condições. Em geral, a adição do lodo de ETA piorou as propriedades da massa cerâmica, entretanto, os valores obtidos com os ensaios na concentração de 5% de lodo, ainda permanecem dentro dos limites aceitáveis para a produção de peças cerâmica vermelha.

Palavras Chave: Lodo, Estação de Tratamento de Água (ETA), propriedades físicas, cerâmica vermelha.

ABSTRACT

The sludge from decanters in Water Treatment Plants (WTP) has different composition varying, according to the region, coagulant type and dosages, the plant layout. In this work, the physical characterization of the sludge generated from decanters (ETAII the municipality of Rio Claro, Brazil), the manufacture of bodies of evidence-sludge mixture of clay (with humidity of 8% and concentrations of sludge, 5, 15 and 30%) the testing technology after burning the mixture to a temperature of 950 ° C were investigated. The main aim assess the possibility of its use as raw material in the ceramic red production. For comparison of the obtained results it was used values of the testing technology of bodies of evidence only with clay, prepared under the same conditions. In general, the addition of sludge from ETA made worse the properties of the ceramic body, however, the values obtained from the tests on the concentration of 5% of sludge, still remain within the acceptable limits for the production of red pottery pieces.

Key Words: Sludge, Water Treatment Plant (WTP), physical properties, ceramic red.

SUMÁRIO

Assunto	Página
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivos Específicos	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 Lodos da Estação de Tratamento de Água (ETA).....	12
3.1.1 Produção dos Lodos de Estação de Tratamento de Água.....	12
3.1.2 Características dos Lodos de Estação de Tratamento de Água	13
3.1.3 Adensamento	13
3.1.4 Métodos de Desidratação dos lodos de Estação de Tratamento de Água	13
3.1.4.1 Métodos Não Mecânicos	14
3.1.4.2 Métodos Mecânicos.....	17
3.1.5 Disposição Final	18
3.1.5.1 Rede Coletora de Efluentes	18
3.1.5.2 Aterros Sanitários	18
3.1.5.3 Superfície de Terrenos.....	19
3.1.5.4 Subproduto	19
3.2 Cerâmica Vermelha	19
3.2.1 Matérias-primas	21
3.2.1.1 Argilas	21
3.2.1.2 Propriedade das argilas.....	22
3.2.2 Processo produtivo de cerâmica vermelha	24
4. MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO	27
4.1 Método.....	27
4.1.1 Método de Coleta das Amostras	28
4.1.1.1 Coleta do Lodo da Estação de Tratamento de Água - ETA II.....	28
4.1.1.2 Coleta da Argila.....	31
4.1.2 Determinações e Ensaios nas Amostras	31
4.1.2.1 Determinação de sólidos no lodo em estado bruto	31
4.1.2.2 Ensaios Físicos	32
4.1.3 Incorporação do lodo na massa cerâmica (mistura lodo-argila).....	35
4.1.4 Ensaios tecnológicos das misturas.....	37
4.1.4.1 Densidade Geométrica.....	37
4.1.4.2 Perda ao Fogo	38
4.1.4.3 Módulo de Ruptura à Flexão	38
4.1.4.4 Absorção de Água	39
4.1.4.5 Retração Linear.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Determinação da Concentração de Sólidos	39
5.1.1 Lodo.....	39
5.2 Determinação da Plasticidade.....	41
5.2.1 Lodo.....	41
5.3 Determinação Granulométrica.....	43
5.3.1 Lodo.....	43
5.4 Testes de Resistência	45
5.4.1 Determinação Pós Secagem.....	45
5.4.1.1 Densidade Geométrica.....	45
5.4.2 Determinação Pós Queima	46

5.4.2.1 Absorção de Água	46
5.4.2.2 Retração Linear.....	48
5.4.2.3 Módulo de Ruptura à Flexão	49
5.4.2.4 Perda ao Fogo	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
7. CONCLUSÕES.....	52
8. RECOMENDAÇÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Métodos de desidratação.....	16
Figura 2: Produtos da indústria cerâmica vermelha.	20
Figura 3: Argila coletada da jazida da Olaria Ivanira.....	21
Figura 4: Processo de extrusão em olaria.	25
Figura 5: Peças cerâmicas em galpões cobertos e secas pelo ar ambiente.....	26
Figura 6: O processo de queima de peças cerâmicas.....	27
Figura 7: Aspecto do lodo da terceira lagoa de lodo na ETA II de Rio Claro.	28
Figura 8: Estação de Tratamento de Água (ETAII) de Rio Claro-SP.	29
Figura 9: Câmara de mistura rápida da ETA de Rio Claro-SP.....	30
Figura 10: O decantador e o filtro, da ETA II de Rio Claro-SP.	30
Figura 11: Composição granulométrica da fração fina do lodo.	33
Figura 12: Aparelho de Casagrande e cinzel.	34
Figura 13: Amostra de lodo antes e depois de passar pelo moinho.....	36
Figura 14: Molde para confecção dos corpos de prova.	36
Figura 15: Corpos de prova confeccionados	37
Figura 16: Gráfico de determinação do limite de liquidez.	41
Figura 17: Curva granulométrica da amostra de lodo.	44
Figura 18: Comportamento da densidade.....	46
Figura 19: Absorção de água pós queima.....	47
Figura 20: Comportamento da retração linear.....	48
Figura 21: Módulo de ruptura à flexão da mistura lodo-argila	49
Figura 22: Comportamento de perda ao fogo.....	50

LISTA DE GRÁFICO

Tabela 1: Tecnologias de desidratação do lodo.....	17
Tabela 2: Resultado das análises do lodo da ETAII, de Rio Claro, SP.....	40
Tabela 3 Resultados do limite de liquidez.....	41
Tabela 4: Resultados do limite de plasticidade.....	42
Tabela 5: Tabela de classificação dos índices de plasticidade.....	42
Tabela 6: Valores do peneiramento da fração areia do lodo.....	43
Tabela 7: Resultados do ensaio de sedimentação da fração fina de lodo.....	43
Tabela 8: Escala Granulométrica.....	45
Tabela 9: Densidade Geométrica dos corpos de prova secos.....	46
Tabela 10: Média dos resultados de absorção de água.....	47
Tabela 11: Média dos valores de retração linear de queima.....	48
Tabela 12: Média dos valores do teste do Módulo de Ruptura à Flexão.....	49
Tabela 13: Concentração média da massa de perda ao fogo.....	50

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população nas cidades e a crescente demanda por serviços básicos de saneamento, faz-se necessário a melhoria contínua dos processos de tratamento da água bruta e a ampliação das redes de abastecimento de água potável. Atualmente, gerenciar o setor de saneamento não é uma tarefa fácil, pois este serviço exige cuidados não só com a qualidade da água tratada, como também com o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados (lodo).

A água que abastece a Estação de Tratamento de Água (ETA), na maioria das vezes, tem como origem fontes superficiais e pode conter substâncias, microorganismos e elementos químicos que devem ser eliminados ou até mesmo diminuídos a concentrações que não prejudique a qualidade de vida das pessoas. Assim sendo, a eficiência das técnicas e dos métodos que são empregados no tratamento, o freqüente monitoramento da qualidade do processo, tanto na saída da estação como nos pontos mais distantes da rede de abastecimento, são de grande importância na manutenção da saúde coletiva da população abastecida (GUERRA, 2005).

Os sistemas de tratamento de água para abastecimento apresentam semelhanças com os sistemas produtivos de qualquer indústria, pois em ambos os casos a matéria-prima é trabalhada e transformada através de diversos processos, e resulta em um produto final. Esses processos são divididos em etapas, que geram resíduos com características diversas, relacionadas à origem da matéria-prima, aos produtos químicos adicionados, ao *layout* da estação, entre outros (CORDEIRO, 1999).

O processo mais empregado no tratamento da água é o ciclo completo, que engloba as etapas de pré-sedimentação, oxidação, coagulação/floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção. Este tem como principal objetivo a remoção de patógenos, cor e turbidez da água bruta, e como consequência desse mecanismo, a formação do lodo (RICHTER, 2001).

Nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), o lodo teve, durante anos, como disposição final o curso do rio mais próximo, que na maioria dos casos tratava-se da própria fonte de abastecimento de água da estação. Porém, com o passar do tempo, uma maior atenção está sendo dada à questão ambiental, e principalmente à qualidade dos recursos naturais.

Assim sendo, os órgãos ambientais tem restringido e até mesmo proibido esse tipo de destinação, de acordo com a lei nº 9605/98 conhecida como Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998), obrigando os responsáveis pelo gerenciamento das ETAs a procurar outros métodos ambientalmente corretos para a disposição final deste tipo de resíduo.

Uma das alternativas para equacionar este problema consiste em transformar e utilizar estes resíduos como matéria-prima em processos industriais, de forma técnica, ambiental e economicamente correta, de maneira a não comprometer a saúde das pessoas envolvidas no processo e a diminuir os impactos negativos causados ao meio ambiente.

Como uma das possibilidades para esta utilização, muitos estudos trabalham com a semelhança na composição e nas características dos lodos de ETAs com as matérias-primas utilizadas na fabricação de peças cerâmicas, e como resultado, muitos deles mostram a viabilidade desta forma de reaproveitamento ou imobilização do resíduo da ETA.

Devido à variabilidade da composição do lodo da ETA e de acordo com os diversos aspectos envolvidos desde a captação até todo o processo de tratamento ocorrido na ETA, tornam-se necessários estudos específicos para cada localidade.

Neste sentido, na presente pesquisa, foi estudada a viabilidade da incorporação do lodo na argila para a fabricação de cerâmica vermelha. Para tal, foram investigadas as propriedades físicas do lodo gerado na ETA II do município de Rio Claro, SP - cidade próxima de um dos grandes pólos cerâmicos do estado de São Paulo – e avaliados os aspectos relativos à sua qualidade, visando fornecer subsídios ao problema de disposição do resíduo sólido gerado nessa estação.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade de se incorporar três diferentes quantidades de lodo, produzidos nos decantadores da Estação de Tratamento de Água de Rio Claro (ETA II), na argila utilizada como matéria prima da indústria cerâmica.

2.1 Objetivos Específicos

- Comparar as alterações nas propriedades físicas dos corpos de prova das misturas lodo-argila, com os corpos de prova confeccionados somente com argila.
- Verificar se alguma das misturas pode ser utilizada como matéria-prima na produção de peças da indústria de cerâmicas vermelhas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Lodos da Estação de Tratamento de Água (ETA)

A formação do lodo das Estações de Tratamento de Água que utilizam ciclo completo dá-se principalmente através da coagulação da água bruta, somado ao produto resultante da utilização do coagulante, que na maioria dos casos trata-se de hidróxidos de ferro e alumínio, e ao processo unitário utilizado em cada estação. A seguir serão apresentados alguns aspectos relativos à produção de lodo em ETAs, suas características e métodos de tratamento.

3.1.1 Produção dos Lodos de Estação de Tratamento de Água

A produção do lodo durante o processo de tratamento de água ocorre pela desestabilização das partículas existentes na água bruta, essas são formadas por partículas de natureza física, química e biológica, em sua grande maioria constituída de colóides. Após a desestabilização estas partículas agregam-se umas as outras, formando flocos que podem ser sedimentado ou flotados, dependendo do método de tratamento adotado pela estação de tratamento de água. Esses flocos aglomerados são denominados lodos de ETA.

O método de tratamento de água mais utilizado é o ciclo completo. Este caracteriza-se principalmente pelas etapas de coagulação/floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção. Durante o processo de tratamento da água utilizando ciclo completo, o lodo é gerado em dois pontos, sendo um deles o decantador ou flotador, que dependendo da eficiência do processo gera 60 à 95% do total do lodo produzido, e o outro local de formação é o filtro. Segundo RICHTER (2001) a concentração de lodo removido da água bruta é em torno de 0,2 a 5% do volume de água tratada, sendo que este valor varia de maneira significativa dependendo da fonte de origem da água, da utilização do decantador ou flotador, do filtro rápido e da técnica de remoção.

Nas ETAs, os sais de ferro (Fe^{+3}) e alumínio (Al^{+3}) são os compostos mais utilizados como coagulantes. Estes desestabilizam as partículas devido as suas cargas. Quando o coagulante utilizado no tratamento é o cloreto férrico, o lodo da ETA é conhecido como lodo de cloreto férrico (CORDEIRO, 1999).

Depois de coagulado e floculado, o lodo é encaminhado aos tanques de decantação, onde podem ser removidos de forma contínua ou intermitente (CAMPOS; POVINELLI, 1976). A de forma contínua dá-se em estações de tratamento de água com grande capacidade de tratamento, porém a concentração do lodo resultante assemelha-se à concentração do lodo

formado na lavagem dos filtros (INGUNZA, 2006). Já o lodo removido de forma intermitente é acumulado por volta de 2 a 3 meses e após esse período é retirado do decantador.

Já o lodo retido nos filtro é removido de acordo com a frequência da lavagem dos filtros, que varia de 24 à 72h, sendo que a concentração de sólidos na água de lavagem depende da capacidade de retenção do meio filtrante e não da quantidade de flocos (CAMPOS; POVINELLI, 1976).

3.1.2 Características dos Lodos de Estação de Tratamento de Água

O lodo de ETA é composto de água, sólidos suspensos e colóides contidos na água bruta, acrescidos dos produtos químicos usados durante o processamento. Segundo Teixeira (2007), o lodo de ETA é constituído, basicamente, de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areias, argilas, siltes, cálcio, magnésio, ferro, manganês, entre outros. Complementam a composição do lodo os hidróxidos de ferro ou de alumínio em grande quantidade, proveniente da adição de produtos químicos e, em alguns casos, polímeros condicionantes também utilizados no processo.

A seguir serão descritas algumas propriedades específicas dos lodos de ETA, como as características físicas, químicas e a presença de agentes patogênicos, matéria orgânica e metais pesados.

3.1.3 Adensamento

O lodo gerado pela lavagem dos decantadores ou pelos mecanismos de remoção continua é um material com alto conteúdo de água, sendo necessária à diminuição do teor de umidade deste resíduo, a fim de minimizar o custo do tratamento e disposição final dos sólidos.

A redução do volume dos lodos de coagulação não diminui somente o problema da disposição do resíduo. Em muitos casos, o sobrenadante pode ser utilizado para complementar a fonte de água bruta a ser tratada. O método mais simples para concentração do lodo é o processo de decantação. Testes de decantação com estes lodos de ETAs, indicam que eles podem atingir de 0,5 a 1,0% de concentração de sólidos (INGUNZA, 2007).

3.1.4 Métodos de Desidratação dos lodos de Estação de Tratamento de Água

Para que o lodo seja levado ao seu destino final, é necessário, a desidratação deste resíduo a uma concentração de sólidos em torno de 18 a 20%, reduzindo assim o seu volume e facilitando o seu transporte e manuseio. Com a ajuda de alguns processos e equipamentos,

pode-se chegar à textura de lodo desejada e adequada a cada processo e operação de Estação de Tratamento de Água. Para que se esquematize um sistema de desidratação em uma estação é necessário que se tenham alguns dados a respeito do lodo produzido, como as suas características e a estimativa de quantidade. (RICTHER, 2001).

Os métodos de desidratação (ver Figura 1) utilizados no tratamento do lodo de estações de tratamento de água, compreendem métodos mecânicos e não mecânicos. Entre os métodos comumente utilizados para melhorar as condições dos lodos para disposição final, podem ser citados: a desidratação natural em lagoas e leitos de secagem, a desidratação mecânica em centrifugas, filtros a vácuo, filtro-prensa de placas ou esteiras (BIDONE et al, 2001).

A seguir, serão descritos alguns processos de secagem utilizados na desidratação dos lodos de ETA.

3.1.4.1 Métodos Não Mecânicos

A desidratação não mecânica, como seu nome indica, é aquela que não utiliza acessórios mecânicos, tais como os citados no item anterior.

Os dispositivos não mecânicos de desidratação mais comuns são as lagoas e os leitos de secagem. Devido ao seu alto custo, são mais indicados para pequenas estações de tratamento, usualmente com capacidade menor que 200 l/s. A indisponibilidade de terreno limita seu uso em instalações maiores.

As lagoas de desidratação e os leitos de secagem trabalham com as mesmas cargas superficiais. A diferença entre elas reside na profundidade líquida que, nos leitos de secagem, não passa de 60 cm e, nas lagoas chegam a 1,80 m. Assim, as lagoas podem suportar picos de cargas maiores, que os leito de secagem, e o número de limpezas por ano é consideravelmente reduzido.

a) Lagoas de Secagem

O método de tratamento mais utilizado em ETAs para o tratamento de lodo é a disposição em lagoas de secagem. Em locais onde terrenos próximos são disponíveis a custos razoáveis, a disposição em lagoas pode ser relativamente econômica (GUERRA, 2005).

Lagoas de secagem geralmente são construídas apenas pelo fechamento de uma superfície de terra por diques ou por escavação no terreno. O lodo é adicionado de forma continua ou intermitente, até que a lagoa esteja cheia sendo posteriormente abandonada ou realizada a remoção dos sólidos (CORDEIRO, 1999)

Enquanto os custos operacionais das lagoas de secagem são baixos, fatores influenciam o tamanho da área necessária, entre eles: o clima, a disposição intermitente ou contínua, percentagem de sólidos no lodo e a disponibilidade de uma ou mais lagoas alternativas.

O processo de desidratação envolve a evaporação na superfície do lodo, dependendo da profundidade da lagoa, e a sedimentação. Os resultados podem variar amplamente e chega a atingir de 10 a 15% de sólidos totais, dependendo da localização e época do ano (INGUNZA, 2006).

A remoção do lodo pode ser realizada por dragas ou escavadeiras. O lodo deve ser acumulado em montes, e assim permanecer para um período de secagem ao ar (evaporação), antes da remoção e transporte para a disposição final (INGUNZA, 2006).

De maneira geral, a disposição em lagoas de secagem pode ser considerada um processo ineficiente, não representando um método de disposição final, sendo adequada para o adensamento, desidratação e acúmulo temporário (DI BERNARDO et al., 1999).

b) Leito de Secagem

Em regiões onde as condições climáticas mostram-se favoráveis e há disponibilidade de área, a utilização de leitos de secagem pode diminuir impactos ambientais, bem como o volume dos despejos da lavagem dos decantadores nos cursos de água, possibilitando a reciclagem de sobrenadante na unidade de mistura rápida, minimizando as perdas (CORDEIRO, 1999).

Os leitos de secagem são constituídos por tanques rasos. O sistema é composto por duas ou três camadas de areia com granulometria diferente e cerca de 30 cm de espessura, britas graduadas de 15 a 30 cm de espessura e sistema drenante, constituído por tubos perfurados de 150 ou 200 mm de diâmetro (CORDEIRO, 1999).

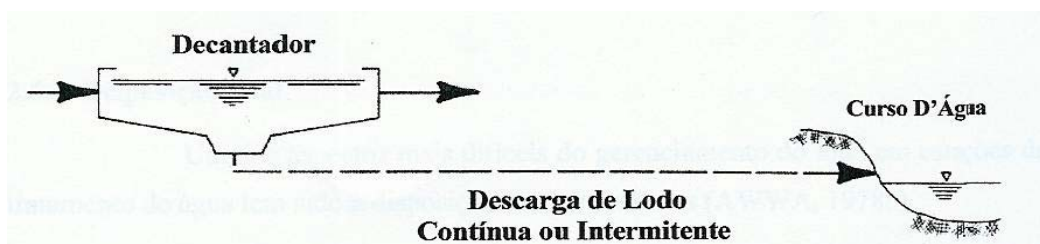


Figura 1. Disposição de lodo em cursos d'água.

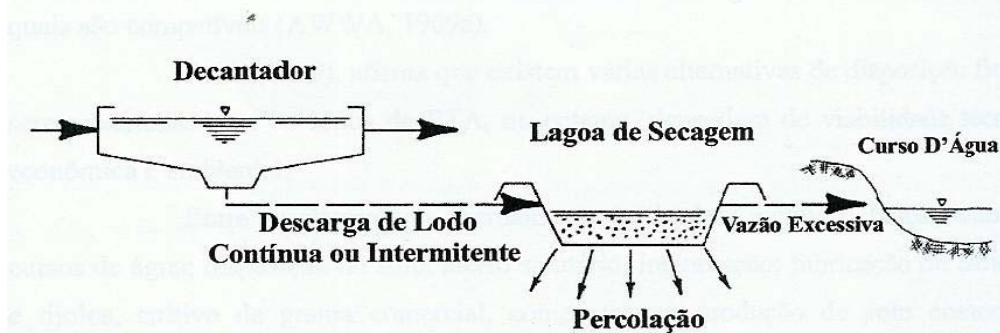


Figura 2. Disposição de lodo em lagoas de secagem.

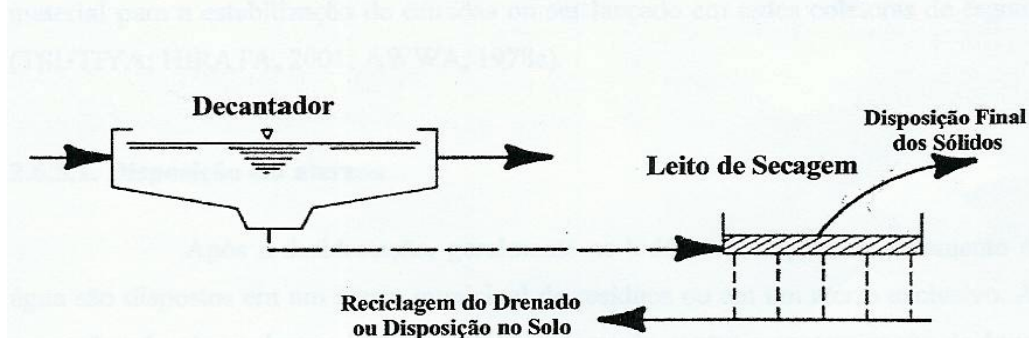


Figura 3. Disposição de lodo em leitos de secagem

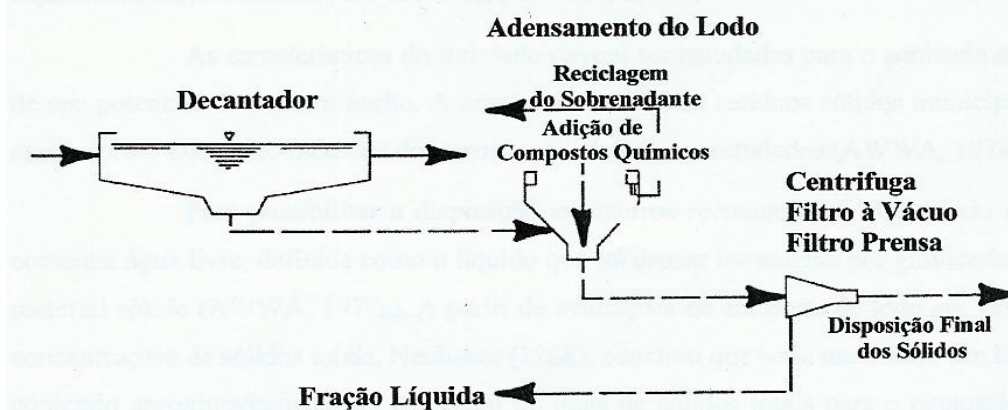


Figura 4. Desidratação Mecânica de Lodo

Adaptado de: Reh, 1980

Figura 1: Métodos de desidratação utilizadas no tratamento do lodo de Estações de Tratamento de Água

A água que passa por gravidade através da torta de lodo e da camada de areia, é coletada pela tubulação do sistema de drenagem a baixo. As taxas de drenagem para os lodos dependem da resistência específica e da profundidade em que foram dispostos (INGUNZA, 2006).

Preferencialmente a adição do lodo deve ser realizada até um volume que permita a formação de uma estrutura repleta de rachaduras, estendendo-se até atingir a interface lodo-areia durante a desidratação, criando uma maior superfície de exposição, acelerando a evaporação da água e proporcionando tortas com maior concentração de sólidos (DI BERNARDO et al., 1999).

A desidratação de lodos em leitos de secagem é um passo intermediário à disposição final. Os sólidos podem ser dispostos em aterros, se misturados com areia, ou serem misturados juntamente com os resíduos sólidos nos aterros sanitários (DI BERNARDO et al., 1999).

3.1.4.2 Métodos Mecânicos

Entre os diversos equipamentos de desidratação mecânicos atualmente disponíveis no mercado, podem ser citados os seguintes, em ordem crescente de custo, e que atendem à exigência de uma torta com um mínimo de 20% de sólidos (ver Tabela 1):

Tabela 1: Principais tecnologias de desidratação em ordem crescente de custo.

Técnica	Aplicações	Limitações	Custo Relativo
Prensa Desaguadora	Capaz de obter um lodo relativamente seco, com 40-50% de sólidos secos.	- Sua eficiência é muito sensível às características da suspensão. - As correias podem se deteriorar rapidamente na presença de material abrasivo.	Baixo
Decantação Centrífuga	Capaz de obter um lodo desidratado com 15-35% de sólidos, e adequado para áreas com limitação de espaço.	Não tão efetiva na desidratação como a filtração	Médio
Filtro Prensa	Usado para desidratar sedimentos finos. Capaz de obter torta com 40-50% de sólidos.	-Elevado custo operacional e de energia. -Troca do meio filtrante demorada.	Alto
Filtro Rotativo a Vácuo	Mais indicado para desidratar sedimentos finos granulares, podendo obter torta de até 35-40% de sólidos.	- É o método menos eficaz de filtração. - Elevado consumo de energia.	Mais alto

Fonte: Richter (2001).

3.1.5 Disposição Final

Para a disposição final do lodo das Estações de Tratamento de Água, consta na literatura alguns métodos alternativos, como o seu lançamento na rede coletora de efluentes, a deposição em aterros sanitários, a aplicação na superfície de terrenos e até mesmo na utilização como subproduto.

3.1.5.1 Rede Coletora de Efluentes

Dependendo da quantidade de resíduo líquido gerado, estes poderão ser lançados diretamente na rede coletora de esgotos, desde que a rede seja capaz de atender tal incremento de vazão (DI BERNARDO et. al., 1999).

A toxicidade do lodo ao sistema biológico de tratamento, bem como as consequências dessa descarga à qualidade e a produção dos lodos de ETE, devem ser avaliadas para evitar qualquer efeito não desejado ao sistema de tratamento de esgotos. Efeitos positivos para o tratamento tais como controle de H_2S , aumento da eficiência dos decantadores primários e da remoção de fósforo, são normalmente observados (GUERRA, 2005).

O lodo de ETA lançado no sistema de esgoto não irá afetar a atividade biológica das ETEs operando sistemas de lodos ativados. Se o lodo de ETA é lançado para a rede coletora de esgoto na taxa em que é produzido, as evidências indicam que não haverá prejuízo no processo biológico desempenhado pela ETE (INGUNZA, 2006).

Disposição de resíduos do tratamento de água para o esgoto deve ser considerado como um passo intermediário, deixando a disposição final dos sólidos nas mãos do sistema de tratamento de esgotos (CORDEIRO, 1999).

Vale ressaltar que as redes de abastecimento no Brasil não são projetadas para conduzir grande carga de sólidos, estando sujeita a sedimentação de flocos.

3.1.5.2 Aterros Sanitários

Uma das alternativas utilizadas com maior frequência para disposição final do lodo é a sua destinação ao aterro sanitário. Para que este método possa ser viável, recomenda-se desidratar o lodo a um teor de sólidos de no mínimo de 20% (NBR 10.004, 2004). Devido ao seu elevado custo, a disposição em aterro é geralmente a última escolha a ser considerada. Como os sólidos provenientes da estação de tratamento de água geralmente não apresentam periculosidade, podem ser lançados em aterros próprios ou em municipais de resíduos urbanos.

Dependendo da distância, o custo do transporte pode inviabilizar esta alternativa e se adota soluções mistas, como bombeamento do lodo líquido ou semi-sólido para uma área de

desidratação mais próxima da área de disposição. A locação desta área é importante para minimizar o impacto do aterro sanitário em área adjacente (GUERRA, 2005).

3.1.5.3 Superfície de Terrenos

A aplicação no solo consiste em dispor o lodo no solo natural ou na agricultura, e está sendo considerada uma alternativa de disposição viável.

O lodo pode ser aplicado em forma líquida, sólida e semi-sólida, dependendo do meio de transporte. O transporte por caminhões exige elevadas concentrações de sólidos. A aplicação em forma líquida é desejável, porém impõe o bombeamento e assim a proximidade da estação de tratamento com a área de aplicação (INGUNZA, 2006).

O volume aplicado geralmente corresponde a cerca de 2 a 4 cm/ano, conforma a necessidade, porém a taxa de aplicação que o solo pode assimilar deve ser devidamente determinada por pesquisa local (INGUNZA, 2006).

Os custos de transporte e a pouca aceitação pelos lavradores são os principais obstáculos para um maior desenvolvimento deste método de disposição.

3.1.5.4 Subproduto

Quando à obtenção de local de disposição final adequado torna-se uma tarefa extremamente difícil, tal como em grandes cidades, o uso do lodo ou da torta em outras aplicações pode ser uma solução viável. Sua aplicação específica diferencia-se pelas características da torta produzida. Geralmente pode ser utilizado como material para tijolos refratários, agente plastificador em cerâmica, na pavimentação de estradas e na produção de cimento.

Os principais componentes do cimento são CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Os materiais brutos usados na produção do cimento contêm estes óxidos na forma de carbonatos ou sulfatos. Estes componentes são também encontrados nos lodos das estações de tratamento de água, que assim, podem substituir, em certas proporções, as matérias-primas na fabricação do cimento.

3.2 Cerâmica Vermelha

Cerâmica vermelha é um segmento cerâmico, que compreende os produtos que apresentam após a queima cor vermelha. Entre os principais produtos que se inserem neste setor estão os que são destinados à construção civil, entre eles, tijolos maciços, blocos cerâmicos de vedação e estruturais, telhas, manilhas, tabelas e lajotas para piso (Figura 2). A

cor que caracteriza este segmento (vermelha) é resultado da oxidação de compostos de ferro liberados pela argila durante a queima. Sendo que, a intensidade da cor varia segundo a quantidade de óxidos de ferro que compõe o produto, a presença de outros minerais e o tratamento térmico (JORDÃO; ZANDONADI, 2002).



Figura 2: Principais produtos fabricados na indústria cerâmica vermelha.

A indústria da cerâmica vermelha é uma das mais difundidas, sendo que a única matéria prima utilizada durante o processo produtivo é a argila, ou seja, não há a adição de outro minério (BAUER, 2001).

Segundo Gomes (1988), a argila utilizada como matéria prima da cerâmica vermelha é grosseira e possui grande quantidade de silte e areia, e o teor da fração argilosa é baixo, mas o suficiente para gerar a plasticidade necessária a moldagem dos corpos cerâmicos. A queima da argila é feita em temperatura não superior a 950°C , sendo que se argila for calcária, a cor avermelhada passa a ser atenuada pela ação do CaO , resultando em um tom acastanhado.

A maioria das construções no Brasil, utiliza-se de materiais provenientes da indústria cerâmica vermelha, isso faz com que este setor seja um dos ramos mais movimentados da produção cerâmica. Os produtos da cerâmica vermelha têm pouca exigência de qualificação na sua aplicação, e a sua participação no volume total de uma obra chega a ultrapassar 90%, sendo que o custo dificilmente atinge 10% do valor da obra (VILLAR, 1988).

Segundo Thomaz (1988), a aceitação dos materiais oriundos da cerâmica vermelha, supera os aspectos técnicos e atinge o valor cultural, pois a população menos favorecida da sociedade domina as técnicas construtivas em alvenaria de tijolos e blocos, sendo estas preferidas para as autoconstruções.

3.2.1 Matérias-primas

A qualidade e as propriedades dos produtos queimados dependem das características da matéria-prima e sua modificação durante o processo produtivo (CHRISTOFOLETTI, 2003).

3.2.1.1 Argilas

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que adquire quando umedecida com água, certa plasticidade. Todas as argilas são constituídas por argilominerais, que são compostos quimicamente por silicatos hidratados de alumínio e ferro, contendo ainda certo teor de elementos alcalinos e alcalinos-terrosos. Além dos argilominerais, as argilas contêm, geralmente, matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais (GASPAR, 2003).

Segundo a NBR 6506 (1995), as argilas (ver Figura 3) são predominantemente compostas por partículas de diâmetro inferior a 0,002 mm, que apresentam plasticidade quando úmidas e, quando secas, formam torrões que são difíceis de desagregar pela pressão dos dedos.



Figura 3: Argila coletada da jazida da Olaria Ivanira e moída em moinho de martelo em malha ABNT 32 (abertura 0,5mm).

Os elementos básicos da argila para a produção de cerâmica vermelha são os argilominerais, que são uma mistura de caulinita, ilita e/ou montmorilonita. A caulinita é o principal argilomineral componente das argilas, sendo responsável pela elevada resistência mecânica dos produtos cerâmicos. Quando pura, é pouco utilizada para esse fim por necessitar de elevadas temperaturas para adquirir melhor resistência, devendo ser misturada a outros tipos de argilas. A ilita é muito utilizada em blocos, tijolos, telhas e lajotas, sendo o ferro a ela associada responsável pela cor avermelhada dos produtos. É muito plástica, de fácil moldagem e apresenta bom desempenho na secagem. A montmorilonita, em pequenas proporções, é benéfica nas argilas para a cerâmica vermelha, porque favorece a plasticidade, a fusibilidade e sinterização, é dita expansiva por absorver grande quantidade de água. Por ser

muito plástica, pode ocasionar problemas na moldagem e trincas na secagem e queima (SANTOS; SILVA, 1995).

Segundo Gomes (1988), a maioria das aplicações da argila situa-se no domínio da cerâmica, onde suas propriedades básicas são a plasticidade e o endurecimento quando queimada. A argila pode ser trabalhada facilmente e, após a queima, a forma escolhida permanece e o objeto torna-se resistente, térmica e mecanicamente.

3.2.1.2 Propriedade das argilas

As propriedades cerâmicas das argilas são as características que determinam sua conformidade e maneira de uso na produção de peças cerâmicas. Já as propriedades das argilas que são utilizadas como matéria-prima na indústria cerâmica são determinadas pela presença de matéria orgânica, composição mineral, sais solúveis e pela distribuição do tamanho das partículas (GREGE, 1988).

a) Granulometria

A granulometria é uma das características mais importantes dos minerais argilosos e que governa muita de suas propriedades. Na cerâmica à base de argila, as propriedades como plasticidade, permeabilidade, resistência são dependentes da dimensão, distribuição e forma dos grãos. Sendo que as partículas com diâmetro $\leq 1 \mu\text{m}$ influenciam fortemente em etapas da produção, tais como na extrusão, colagem e eletrodeposição (GOMES, 1988).

b) Plasticidade

É a propriedade do material que permite a ele ser deformado através de uma força sem sua ruptura e manter a forma depois de cessada a força. Materiais argilosos em geral desenvolvem plasticidade quando são misturados com pequenas quantidades de água. Argilas muito plásticas não devem ser utilizadas na fabricação de produtos cerâmicos, porque necessitam de muita água, não podendo ser satisfatoriamente moldadas em função do excesso de umidade (GASPAR, 2003).

As propriedades que mais influenciam a plasticidade são a composição mineralógica e a granulometria, sendo que a plasticidade será maior em argilas com maior teor de minerais argilosos e maior porcentagem de partículas finas (GOMES, 1988).

c) Resistência mecânica

As peças cerâmicas após sua conformação devem apresentar boa resistência mecânica a verde, a seco e após queima.

A verde é a resistência que o corpo com argilas deve apresentar enquanto a água da plasticidade ainda está presente, devendo ser suficiente para permitir que o produto seja manuseado (GREGO, 1988). A resistência a seco é manifestada pelo corpo depois de seco e antes de ser queimado, devendo ser suficiente para possibilitar a manipulação que o acabamento e o transporte até a queima do corpo cerâmico exigem (GOMES, 1989).

As altas resistências cerâmicas nos corpos de argila são dependentes de um teor elevado em argila, da maior plasticidade e granulometria mais fina da argila. Quanto menor a dimensão e mais lamelar forem as partículas constituintes das argilas, maior será a superfície de contato entre elas, e consequentemente a resistência será mais alta (GOMES, 1989).

Segundo Christofolletti (2003), as técnicas de processamento usadas para aumentar a aglomeração, o adensamento e a eficiência da sinterização das partículas, estão diretamente ligadas às características intrínsecas das argilas, como granulometria, forma e ansiometria das partículas. Quanto mais fina a granulometria, mais intensos serão os fenômenos de superfície e a reatividade das partículas durante o processamento cerâmico.

d) Contração na secagem e na queima

Após a conformação das peças cerâmicas, a água deve ser retirada antes de ser queimada. Isso envolve a remoção da água dos poros e absorção na superfície das partículas dos argilominerais. A eliminação da água provoca a diminuição do índice de vazios e consequentemente a aproximação das partículas, diminuindo o volume do produto formado. Esta diminuição de volume é chamada de contração de secagem (BAUER, 2001).

A contração de secagem é em geral diretamente proporcional à água de plasticidade, seu aumento está relacionado com o aumento da água de plasticidade, e em alguns argilominerais a contração aumenta com a diminuição do tamanho das partículas. Argilominerais alongados e fibrosos tendem a ter grandes contrações de secagem em função da perda de empacotamento de suas partículas (BAUER, 2001).

Quando o corpo cerâmico é queimado ocorre nova diminuição de volume, relacionada à perda completa da água e redução ou eliminação dos poros mediante tratamento térmico. Esta redução de volume é denominada contração de queima.

Segundo Gaspar (2003), a contração na queima varia com a distribuição do tamanho das partículas tendendo a aumentar com a quantidade de material e com partículas de pequeno tamanho. Alguns constituintes dos argilominerais têm influencia na contração de queima, como o quartzo que em presença considerável reduz a variação de volume.

3.2.2 Processo produtivo de cerâmica vermelha

Para Grego (1988), o processo produtivo consiste numa série de operações onde as matérias-primas passam por uma seqüência de processamentos, adquirindo em cada etapa novas propriedades ou alterando suas características físicas e químicas até a obtenção do produto final, o qual compreende várias fases, desde a exploração da jazida e tratamento prévio da matéria-prima, passando por moldagem, secagem e queima do produto.

Apesar de muitos anos de utilização dos produtos cerâmicos, seu processo produtivo sofreu pouca evolução tecnológica, acarretando em baixa produtividade e desperdícios no setor, causando problemas para a indústria da construção civil (OLIVEIRA et al. 2002b).

Por outro lado, os produtos são processados localmente, com baixo consumo de energia (na produção ou no transporte), com tecnologia simples e em indústrias com baixo custo de capital, contribuindo para a redução do custo da edificação (AGOPYAN, 1988).

a) Extração das matérias-primas

No Brasil, a extração de argilas é realizada a céu aberto. O plano de extração normalmente prevê a remoção da vegetação e solo arável, a drenagem da água do local, o aproveitamento completo da jazida e a formação de plataformas que facilitem o transporte. Os equipamentos normalmente utilizados na extração de argilas são retroescavadeiras ou escavadeiras. O transporte da argila da jazida à fábrica, em geral, é feito em caminhões basculantes (JORDÃO; ZANDONADI, 2002).

Para Ioshimoto e Thomaz (1990), o estudo de exploração de uma jazida considera sua localização em relação à indústria e o mercado consumidor, características geológicas da argila, formação da jazida, topografia do local, profundidade máxima a ser alcançada e remoção da camada superficial.

Segundo Gomes (1988), os depósitos de argila devem ser selecionados com cuidado, tendo em conta que a rentabilidade da unidade fabril requer uma produção sem problemas durante cerca de 20 anos.

b) Sazonamento

Esta etapa consiste na estocagem de argilas a céu aberto em períodos de tempo que variam de seis meses a dois anos. A exposição do material extraído às intempéries provoca a lavagem de sais solúveis, o alívio de tensões nos blocos de argilas, melhora sua plasticidade e homogeneízam a distribuição da umidade. As argilas são depositadas em camadas nos pátios das indústrias, onde a espessura e alternância das camadas dependem dos tipos de argilas e das propriedades desejadas da mistura final (VILLAR, 1988).

O processo de sazonalização facilita a moldagem por extrusão, evitando o inchamento das peças após moldagem, com a ocorrência de deformações, trincas e ruptura das peças no processo de secagem, e o desenvolvimento de gases durante a queima (SANTOS; SILVA, 1995).

c) Alimentação

Após o sazonalização, as matérias-primas são transportadas para o caixão alimentador, onde é feita a dosagem da quantidade de material necessária para dar entrada na linha de produção. Nessa etapa, se o teor de umidade da mistura for muito elevado (varia de 16% a 25%), a eficácia de equipamentos como o desintegrador será menor, não desintegrando os blocos de argila, mas apenas amassando-os. O material desagregado é transportado para o misturador, onde se inicia a homogeneização, sendo adicionado água quando necessário. Logo após, a mistura é transferida para o laminador, que tem a função de ajustar a granulometria, completar a homogeneização e cortar a massa em laminas (JORDÃO; ZANDONADI, 2002).

d) Conformação

Na conformação a peça recebe forma e acabamento que não poderão ser modificados nas etapas seguintes (ROMAN, 1983).

No Brasil, a indústria oleira usa processos manuais ou mecânicos de moldagem que podem ser por prensagem (fabricação de telhas e tijolos) ou extrusão (ver Figura 4), o mais usado. Os tijolos moldados mecanicamente apresentam maior resistência mecânica e menor porosidade que os moldados manualmente (SILVA et al., 2001).



Figura 4: Processo de extrusão durante a fabricação de tijolos em olaria.

e) Secagem

É uma etapa importante, pois nela deve ser retirada toda a água adicionada à peça durante a moldagem. Uma vez seco, o tijolo adquire consistência suficiente que permite o manuseio, transporte, empilhamento no forno e está em condições de resistir às transformações físicas e químicas que ocorrem na queima (ROMAN, 1983).

A secagem pode ocorrer de duas maneiras: naturalmente ou artificialmente.

Na secagem natural, as peças são dispostas em prateleiras em galpões cobertos e secas pelo ar ambiente (Figura 5). Em algumas indústrias essas prateleiras são próximas aos fornos, acelerando a secagem. O processo é lento, totalmente dependente das condições atmosféricas e dificilmente há homogeneidade na umidade das peças, não havendo controle sobre a secagem (FONSECA et al., 1994).



Figura5: Peças cerâmicas dispostas em prateleiras em galpões cobertos e secas pelo ar ambiente

Na secagem artificial, as peças são colocadas em estufas, que normalmente recuperam gases quentes dos fornos ou utilizam fonte própria de calor através de uma fornalha, atingindo temperaturas em torno de 80°C. Há um controle sobre a secagem e existe uma maior homogeneidade entre as peças. O tempo de permanência do material nestas estufas é de um a dois dias (FONSECA et al., 1994).

Conforme Roman (1983), a secagem deve ser muito bem executada, pois é a grande causadora das deformações e fissuras que a peça vier a apresentar.

f) Queima

É a fase mais importante do processo cerâmico, pois nela que o material adquire as propriedades adequadas a seu uso, como dureza, resistência mecânica, resistência as intempéries e aos agentes químicos.

Para Van Vlack (1973), a finalidade da queima (Figura 6) é aglomerar as partículas formando uma massa coerente pela sinterização, que traz como consequência ao produto

cerâmico a redução de sua área específica total, redução no volume aparente total e aumento da resistência mecânica.



Figura 6: O processo de queima de peças cerâmicas.

A sinterização que ocorre na queima, é a remoção dos poros entre partículas, acompanhadas pela contração do componente, combinadas com o aumento da união e resistência da ligação química entre as partículas adjacentes (GASPAR, 2003).

A temperatura ideal para queima está entre 900°C e 1000°C. É muito importante um rígido controle de aquecimento até atingir a temperatura máxima desejada, para evitar o aparecimento de defeitos ou inutilização do produto. Normalmente o tempo necessário é de 10-30 horas para o aquecimento (730°C a 870°C), 6-8 horas de temperatura máxima (900°C a 1000°C) e 6-25 horas para o resfriamento (estágios de $\pm 50^\circ\text{C}$) (ROMAN, 1983).

g) Estocagem

Após a queima e antes da estocagem, os produtos cerâmicos devem sofrer um criterioso processo de seleção, onde são eliminadas as peças com defeitos, como fissuras, empenos e mal queimadas (IOSHIMOTO & THOMAZ, 1990).

Segundo Ripper (1995), a estocagem de tijolos, blocos e telhas devem ser feitas em superfície plana, limpa e livre de umidade. Os tijolos e blocos devem ser estocados em pilhas com altura máxima de 1,80m, os blocos empilhados com os furos na posição vertical e as telhas armazenadas verticalmente. Os produtos devem ser protegidos contra chuva, sendo recomendável que as pilhas sejam cobertas com lonas.

4. MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO

4.1 Método

4.1.1 Método de Coleta das Amostras

As amostras de lodo e argila utilizadas no estudo são provenientes da ETA II do município de Rio Claro-SP (lodo) e da Olaria Ivanira, localizada no município de Corumbataí-SP (argila). Nos itens subsequentes são apresentados os procedimentos adotados para a coleta de lodo na Estação de Tratamento de Água (ETAII) de Rio Claro-SP e a coleta de argila na área da Olaria Ivanira no município de Corumbataí-SP.

4.1.1.1 Coleta do Lodo da Estação de Tratamento de Água - ETA II

A coleta do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Água - ETA II, do município de Rio Claro - SP, ocorreu no dia 2 de julho de 2007. Na ocasião foram coletadas amostras, da terceira lagoa de lodo, constituindo 20 litros do material em dois baldes plásticos.

O lodo havia sido retirado do decantador cinco dias antes da coleta (ver Figura 7) e enviado para as lagoas de lodo. A limpeza dos decantadores da ETAII de Rio Claro-SP é manual e realizada com o auxílio de jatos de água sob pressão, sendo o resíduo drenado por gravidade para as lagoas de lodo.

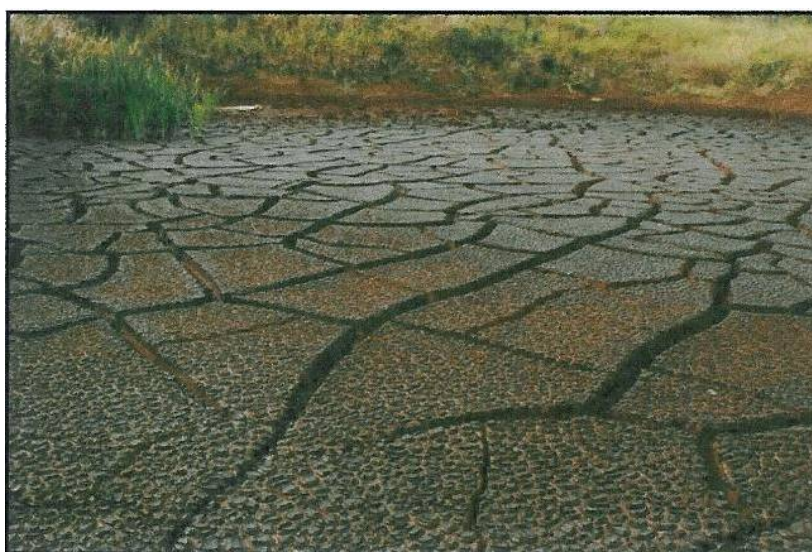


Figura 7: Aspecto do lodo da terceira lagoa de lodo na ETA II de Rio Claro.

Para a realização da coleta foi utilizado um amostrador de sedimentos com 1,5 m de comprimento e 4 cm de diâmetro, sendo que o material coletado foi retirado de quatro pontos da terceira lagoa, a fim de se obter uma amostra mais representativa da área.

a) Descrição da Estação de Tratamento de Água (ETA II) de Rio Claro

A Estação de Tratamento de Água (ETA II) do município de Rio Claro, encontra-se no km 8 da Estrada Municipal que liga Rio Claro a Ajapí (ver Figura 8). Esta estação capta suas águas no rio Corumbataí, que de acordo com os parâmetros da água bruta, enquadra-se como um rio Classe II, conforme Resolução CONAMA nº357 de 2005.



Figura 8: Estação de Tratamento de Água (ETAII) de Rio Claro-SP.
FONTE: site DAEE de Rio Claro-SP.

Esta estação foi construída em 1982, para atender 60% da população do município de Rio Claro e do distrito de Ajapí, tem capacidade nominal de 500 l/s e tratamento em ciclo completo, ou seja, tem como principal objetivo atender a Portaria MS nº 518 (FUNASA, 2004).

O tratamento começa com a captação da água bruta no manancial, que através de bombeamento é direcionada a uma câmara de mistura rápida (Figura 9), onde é adicionada à água cloreto férrico como coagulante e cal hidratada para a correção do pH.

A dose de coagulante é alterada de acordo com as condições da água bruta captada, que varia conforme as estações de chuva, ou seja, em períodos chuvosos a água apresenta maiores valores de turbidez e cor e é aplicada uma concentração de 70 ppm de cloreto férrico, já em períodos de estiagem aplica-se uma concentração de 20 ppm. (Guerra, 2005).

Na câmara de mistura rápida encontram-se duas tubulações, uma para coletar amostras da água bruta, que serão analisadas diariamente para a determinação de parâmetros como cor, turbidez, pH, ferro total e manganês, sendo esta uma forma de monitorar de perto o processo de tratamento, e outra que recebe a água bombeada da primeira lagoa de lodo.

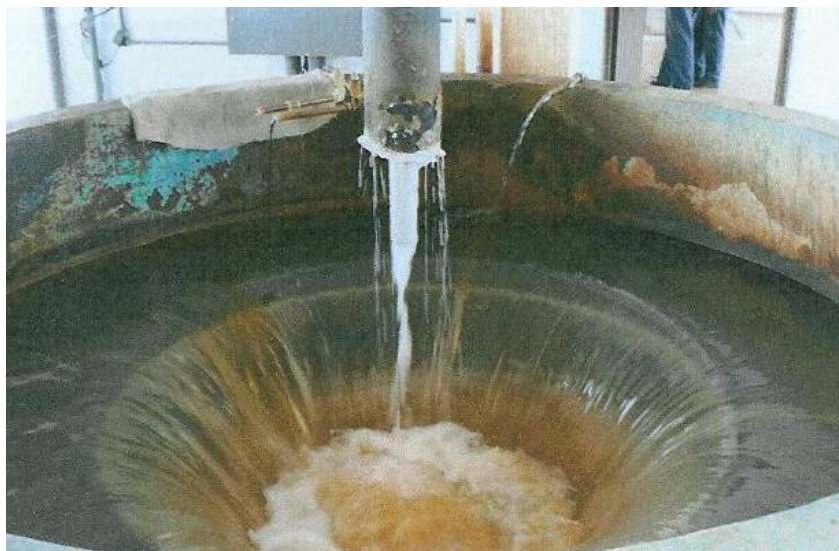


Figura 9: Câmara de mistura rápida da ETA II de Rio Claro-SP

Em seguida a água é direcionada para os floculadores, depois é conduzida para os decantadores (Figura 10), e posteriormente para os filtros (Figura 10). A partir daí a água passará pelo processo de desinfecção com a adição de cloro gasoso.



Figura 10: O decantador no momento da lavagem e o filtro, na ETA II de Rio Claro-SP, respectivamente.

Esta Estação possui também um tratamento característico para o lodo (Figura 10) produzido nos decantadores. O tratamento do lodo começa na sua remoção dos decantadores, que ocorre aproximadamente a cada dois meses de maneira alternada, sendo feita manualmente com jatos de água sob pressão, que acaba diluindo o material e aumentando o volume final.

A partir daí o lodo é direcionado às doze lagoas de lodo, ligadas em série e que acompanham o declive natural do terreno, ocupando uma área total de 5500 m², sendo as três primeiras construídas de alvenaria, enquanto as outras são simples escavações no terreno. Vale lembrar que a água em excesso da primeira lagoa volta ao processo através de uma

tubulação que desemboca na câmara de mistura rápida, e a última lagoa de lodo tem ligação direta com as margens do rio Corumbataí.

O período de secagem do lodo nas lagoas de alvenaria varia em torno de 30 a 40 dias em épocas não chuvosas. Passado esse período, o lodo (ver Figura 7) é retirado com auxílio de máquinas escavadeiras e disposto diretamente no solo na área da própria estação, ao lado dos decantadores. Já o lodo das outras lagoas permanece no local mesmo após o período de secagem.

4.1.1.2 Coleta da Argila

A amostra de argila foi fornecida por funcionários da UNESP de Rio Claro, que relataram que o local de extração está inserido na Formação Corumbataí, mais especificamente, na área da Olaria Ivanira localizada na zona rural do município de Corumbataí.

A amostra foi coletada um mês antes do início do trabalho, com o intuito de se analisar a viabilidade da sua utilização na produção de cerâmica para revestimento, por outro grupo de pesquisa.

4.1.2 Determinações e Ensaio nas Amostras

Neste item são descritas as determinações e os ensaios realizados nas amostras de lodo, argila e na mistura lodo-argila.

4.1.2.1 Determinação de sólidos no lodo em estado bruto

Para a determinação da concentração de sólidos no lodo coletado, foram utilizados os laboratórios do Departamento de Bioquímica e Microbiologia do Instituto de Biociências da UNESP, Campus Rio Claro. A metodologia seguiu os procedimentos descritos no Manual de análises apresentado por Silva, (1977), conforme descrito a seguir:

(i) Inicialmente duas cápsulas de porcelana foram colocadas na estufa de secagem e esterilização (Modelo 315 SE) à 105°C durante 24 horas, enquanto isso foi separada em um recipiente de vidro aproximadamente 250 g de lodo, sendo este lacrado para preservar a umidade da amostra;

(ii) Passada às 24 horas as cápsulas foram colocadas por 30 minutos no dessecador com sílica, sendo este submetido durante 1 minuto ao vácuo. Após esse período as cápsulas foram pesadas em uma balança analítica, para a determinação da tara;

(iii) As cápsulas foram pesadas com a adição do lodo úmido, sendo estas encaminhadas para a estufa à 105°C por um período de 14 horas;

- (iv) As cápsulas foram pesadas na balança analítica;
- (v) A massa úmida da amostra e a concentração de sólidos totais foram determinadas, segundo Silva (1977)
- (vi) As cápsulas com o lodo seco foram encaminhadas para a mufla a 550°C, permanecendo por um período de 30 minutos;
- (vii) Por fim as cápsulas foram pesadas e a concentração estimada de matéria orgânica (sólidos voláteis totais) presente na amostra, bem como a concentração de material inorgânico (sólidos fixos totais).

4.1.2.2 Ensaio Físicos

Os ensaios físicos realizados na amostra de lodo foram os de granulometria e limites de consistência, sendo a metodologia utilizada descrita nos itens abaixo, conforme determinado por Silva (1977).

Granulometria

A determinação da curva granulométrica da amostra de lodo foi feita de duas formas distintas:

- (i) através de peneiramento utilizando as malhas de acordo com a série NBR 6502 (1995), para solos grossos (areia e pedregulhos) e;
- (ii) sedimentação em coluna para solos finos (silte e argila), segundo Silva (1977).

Inicialmente, a amostra de lodo foi encaminhada para estufa a 60°C, permanecendo lá, por 24 horas. Em seguida, foi destorroadada parte da amostra e separou-se 20g, pesada em balança digital, para a realização do peneiramento.

Depois de separado o conjunto de peneiras, lavou-se o material em água corrente, sobre a peneira de malha ABNT 270, ou seja, abertura de 0,058mm, que reteve 1,55% da amostra com maior diâmetro de partículas. Com esse procedimento, 98,45% do lodo passou pela peneira, e o que restou (1,55%), foi separado e levado à estufa.

Depois de seco, o material que saiu da estufa, foi colocado sobre o jogo de peneiras, sendo a peneira superior mais grossa, de malha ABNT 4, e abaixo dela foram colocadas respectivamente as malhas ABNT 10, 16, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 270 e o prato. Depois de peneirada, determinou-se a massa de sólidos retidos em cada peneira.

Em seguida, realizou-se a sedimentação (ver Figura 11), com as partículas das frações silte e argila, ou seja, material passante na malha ABNT 270, abertura 0,058mm.



Figura 11: Determinação da composição granulométrica da fração fina do lodo.

A sedimentação iniciou-se, com uma amostra de lodo de aproximadamente 56g de sólidos, pois segundo Silva (1977), este ensaio deve ser iniciado com uma amostra de lodo que contenha entre 40 e 70g de sólidos, por isso adotamos a média aritmética entre os valores extremos e obtivemos 55g. Porém esse 55g deve ser a fração fina (silte e argila) e o acréscimo na massa de lodo, no caso 1g corresponde à parte areia da amostra.

Após essa determinação, procedeu-se conforme os seguintes passos:

- (i) misturou-se água destilada às 56g de amostra de lodo e adicionou-se como defloculante o hexametáfosfato de sódio;
- (ii) A solução, foi agitada e colocada em uma proveta, completando com água destilada o volume necessário até alcançar 1 litro de solução;
- (iii) Agitou-se a solução por 2 minutos, e posteriormente iniciou a medição da densidade, através da leitura do densímetro colocado na solução nos instantes de 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240 e 480 minutos;
- (iv) A temperatura da água, contida em outra proveta (ver Figura 11), também foi monitorada para efeitos de correção dos valores de densidade da água.

Limites de consistência

As determinações dos limites de consistência foram feitas para caracterizar o lodo quanto a sua plasticidade, de acordo com as recomendações de Silva (1977). Porém vale ressaltar que este ensaio é impreciso e deve ser comparado somente com resultados provenientes do mesmo laboratório, caso contrário deve-se procurar outra forma de caracterização do material a ser estudado.

Os limites de consistência são os teores de umidade que separam estados de consistência de um solo (lodo). Tem-se o limite de liquidez (separa o estado líquido do plástico) e o limite de plasticidade (separa o estado plástico do semi-sólido).

Para a determinação do limite de liquidez, que corresponde à quantidade de água máxima que a massa cerâmica pode conter para ser moldada, utilizou-se o Aparelho Casagrande (Figura 12).

Inicialmente, a amostra foi destorroada e homogeneizada, conforme procedimentos recomendados por Silva (1977), que são descritos a seguir:

- (i) O ensaio foi realizado com o material passante na peneira de malha 40, abertura 0,42mm;
- (ii) Colocou-se em uma cápsula de porcelana, cerca de 100g de lodo e adicionou-se água destilada suficiente até formar uma pasta;
- (iii) Com a concha do aparelho de Casagrande na mão, transferiu-se parte da massa da cápsula de porcelana para a concha, alisou-se a superfície com uma espátula, de forma a obter uma camada de 12mm de espessura, e um comprimento de $\frac{2}{3}$ do diâmetro da concha;
- (iv) Com o cinzel de Casagrande, abriu-se uma ranhura ao longo do plano de simetria do aparelho;



Figura 12: Aparelho de Casagrande e cinzel.

- (iv) Colocou-se a concha no aparelho e girou-se a manivela na razão de dois golpes por segundo;
- (v) Anotou-se o número de golpes de quando a base da massa da ranhura se uniu ao longo do eixo de simetria da concha;
- (vi) Retirou-se cerca de 15g de lodo do local onde ocorreu essa união, para determinar o teor de umidade;

(vii) Foi adicionada água destilada à amostra, a fim de se obter um aumento no teor de umidade;

(viii) Homogeneizou-se novamente a amostra e o procedimento acima foi repetido por mais quatro vezes.

Já para a obtenção do limite de plasticidade, que corresponde à mínima quantidade de água que a massa cerâmica deve conter para ser conformada, procedeu-se conforme descrito a seguir:

(i) Colocou-se em uma cápsula de porcelana cerca de 50g de lodo;

(ii) Adicionou-se água destilada até a formação de uma pasta;

(iii) Rolou-se o lodo com a mão em uma placa de vidro até obter bastonetes com aproximadamente 3 mm de diâmetro e o aparecimento de fissuras;

(iv) Os bastonetes fissurados foram colocados em uma cápsula de alumínio e determinou-se o teor de umidade, segundo Silva (1977).

4.1.3 Incorporação do lodo na massa cerâmica (mistura lodo-argila)

Normalmente a incorporação do lodo é realizada na preparação da massa cerâmica, isto é, no processo de mistura das diferentes argilas para a formação da massa. Em geral, este procedimento é realizado com pá carregadeira na própria cava de extração de argila. Visando simular os procedimentos adotados em escala real, a preparação dos corpos de provas foi feita manualmente ao passar a mistura várias vezes na peneira.

Este procedimento de homogeneização e preparação dos corpos de prova foi realizado no laboratório de Ensaio Cerâmicos do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP Campus de Rio Claro, recomendado pela norma ABNT NBR 13818 (1997), cujos passos são descritos a seguir:

(i) A preparação teve início com a colocação do lodo na estufa a uma temperatura de 100°C por 24 horas;

(ii) Terminado esse período a massa de lodo (ver figura 13) foi levada a um moinho de rotor a martelos fixos da marca Servitech, modelo CT-058 e o material passante na malha ABNT 60 (abertura 0,250mm), foi separado e posteriormente adicionado à argila. Ressalta-se que a argila, já estava preparada, pois havia sido moída em moinho de martelo da marca Tigre, até granulometria passante na malha ABNT 32, segundo relatório escrito por Carolina e Pamela (2007), para a realização de outro estudo;



Figura 13: Amostra de lodo antes e depois de passar pelo moinho.

(iii) Em uma balança digital A 200, pesaram-se quatro amostras com mesma massa (200g), porém composições diferentes A1, A2, A3 e A4. Sendo que A1 apresentava 190g de argila e 10g de lodo (5%), A2 tem 170g de argila e 30g de lodo (15%), A3 140g de argila e 60g de lodo (30%) e A4 apresentava 200g de argila. Para melhor homogeneização, todas as amostras foram peneiradas dez vezes;

(iv) Os teores de umidade das amostras foram determinados através da pesagem em uma balança de umidade da marca OHAUS MB200;

(v) Com os valores obtidos ajustou-se as massas com a umidade desejada. Assim, a umidificação foi o passo seguinte para a preparação dos corpos de prova, sendo que as quatro amostras foram umedecidas até um teor de 8% de água, e permaneceram em repouso por 24 horas para melhor homogeneização;

(vi) Passado esse período as amostras foram novamente pesadas na balança de umidade e todas se enquadravam na faixa de teor de água desejada, entre 7,8 e 8,2%;



Figura 14: Molde para confecção dos corpos de prova.

(vii) Assim, preparou-se quinze corpos de provas (cinco de cada concentração) com molde nas dimensões de 7,2 x 2,2cm (ver Figura 14). Os corpos de prova foram prensados em um aparelho da marca Charloit a uma pressão de 3,5 ton. Depois de prensados, estes foram identificados com códigos e levados para a estufa por 24 horas.

4.1.4 Ensaios tecnológicos das misturas

As análises descritas a seguir foram realizadas nos corpos de prova de lodo-argila (Figura 15) e nas amostras somente com argila, nas etapas após secagem e após queima.

Após secagem foi analisada a Densidade Geométrica. Após queima foram analisadas Absorção de Água, Perda ao Fogo, Retração Linear e Módulo de Ruptura à Flexão.



Figura 15: Corpos de prova confeccionados

A secagem foi realizada em estufa a 100°C, durante um período de 24 horas, após a prensagem dos corpos de prova. Enquanto a queima ao forno, foi realizada após a secagem, durante 3 horas, com aquecimento de até 950°C.

4.1.4.1 Densidade Geométrica

Os procedimentos para o cálculo da Densidade Geométrica foram realizados de acordo com a norma NBR 13818 (1997).

Para calcular a densidade geométrica das três porcentagens de misturas lodo-argila e somente da argila, colocaram-se os corpos de prova no dessecador por 30 minutos, após terem sido retirados da estufa.

Com um paquímetro, foram medidas as três dimensões de cada corpo de prova, sendo elas:

- Comprimento (Cs);
- Largura (Ls);
- Espessura (Es).

Obtidos esses valores fez-se o seguinte cálculo:

$$D = \frac{m}{V} ,$$

onde D é a densidade, m é a massa e V é o volume de cada corpo de prova.

Lembrando que o cálculo do volume é feito através da multiplicação das três dimensões Cs, Ls, e Es.

4.1.4.2 Perda ao Fogo

Para a realização do ensaio de Perda ao Fogo, utilizou-se os procedimentos recomendados pela norma NBR 13818 (1997).

O ensaio de Perda ao Fogo consiste na determinação da perda de massa dos corpos de prova durante a queima em forno. Para este estudo realizou-se somente uma temperatura de queima à 950°C. Para o cálculo deste ensaio é utilizada a seguinte fórmula:

$$PF = \frac{(Mq - Ms) \times 100}{Ms}$$

onde, Ms= massa seca à 100°C e Mq= massa queimada à 950°C.

4.1.4.3 Módulo de Ruptura à Flexão

Os procedimentos realizados para a determinação do Módulo de Ruptura à Flexão, seguiram as recomendações da NBR 13818 (1997).

O conhecimento da resistência mecânica após a queima foi feito para mostrar a resistência que a peça tem, ao aplicar uma força sobre a mesma.

Este ensaio foi efetuado no flexômetro de três pontos da marca BP. Este aparelho aplica uma força com velocidade definida e controlada no centro da peça cerâmica, estando o ponto de aplicação da força em contato com a peça. Quando a peça rompe, o aparelho fornece valores da força aplicada, sendo determinado o MRF (Módulo de Ruptura à Flexão) através da seguinte fórmula (específica para as condições do aparelho no momento da leitura):

$$MRF = \frac{LA \times f}{Er^2 \times Lr} ,$$

sendo LA a leitura feita no aparelho (flexômetro), f=1 é o fator de escala que varia de acordo com o peso utilizado no aparelho, Er a espessura e Lr a largura, ambas as dimensões são medidas no local de ruptura do corpo de prova.

4.1.4.4 Absorção de Água

Para a realização do ensaio de Absorção de Água, seguiu-se os procedimentos recomendados pela NBR 13818 (1997).

Neste ensaio, usaram-se os corpos de prova rompidos no teste de Módulo de Ruptura à Flexão, ou seja, queimados. Os fragmentos foram pesados, e em seguida, imersos em um recipiente de alumínio com água, sendo este fervido durante duas horas.

Após esse tempo o recipiente foi retirado do fogo e os pedaços esfriados em água corrente. Em seguida retirou-se com um pano úmido o excesso de água da superfície e os corpos de prova foram novamente pesados. Com os valores do peso seco e úmido, determinam-se os valores de absorção de água.

$$AA (\%) = \frac{(P_u - P_s) \times 100}{P_s}$$

Sendo: P_u = peso úmido e P_s = peso seco.

4.1.4.5 Retração Linear

Os procedimentos realizados para a determinação da Retração Linear, seguiram as recomendações da NBR 13818 (1997), para a realização de ensaios em corpos de prova.

A retração linear é definida como a tendência que a mistura tem em diminuir de volume pela perda de umidade por secagem e queima, e pela diminuição da porosidade.

No total, a retração linear de queima não deve ter um valor muito elevado sob o risco de aparecimento de deformações ou trincas no produto final.

$$\text{Retração Linear de Queima: } RLQ (\%) = \frac{(L_q - L_s) \times 100}{L_s}$$

sendo L_q o comprimento após queima e L_s , o comprimento após secagem..

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Determinação da Concentração de Sólidos

5.5.1 Lodo

A seguir, na Tabela 2, são apresentados os resultados obtidos nas análises do lodo, que se encontrava nas condições em que ficam dispostos nas lagoas de lodo na ETAII.

Tabela 2: Resultado das análises do lodo proveniente da ETAII, município de Rio Claro, SP.

PARÂMETROS	VALOR	UNIDADE
Sólidos Totais	24	%
Sólidos Totais Fixos	21	%
Sólidos Totais Voláteis	3	%

A determinação do parâmetro de concentração de sólidos no lodo de ETA permite avaliar os efeitos negativos na produção das peças cerâmicas durante os processos de secagem e queima.

Esta análise nos fornece de maneira bastante aproximada as concentrações dos sólidos voláteis, que dão uma idéia do teor de sólidos orgânicos existentes no lodo, assim como os sólidos fixos, que indicam o teor de sólidos minerais.

Segundo Richter (2001), na parte sólida que compõe a massa dos lodos de ETA, encontram-se principalmente matéria orgânica e inorgânica, hidróxidos resultantes do processo de coagulação e em alguns casos metais pesados e agentes patogênicos.

No caso dos sólidos totais fixos, que representam 87,5% da parte sólida do lodo, a sua massa é formada por minerais, e o material tem grandes chances de apresentar composição adequada para ser misturado com as argilas para a produção de peças para a indústria de cerâmica vermelha.

Ao fazer a análise do lodo no estado em que se encontra na lagoa de lodo, foi obtido um valor de umidade de aproximadamente 33%, valor este que se comparado aos resultados obtidos por Guerra (2005), permite efetuar uma estimativa preliminar de eficiência de desidratação das lagoas de lodo na ETAII de Rio Claro. Guerra (2005) analisou a concentração de sólidos do lodo no estado em que chega à lagoa de lodo da ETAII, ou seja, logo após a saída do decantador, e obteve como resultado valor de umidade de 96,2%.

Essa perda de água inicial é de extrema importância, não só para a redução do volume do resíduo gerado na estação, como também na utilização do lodo na indústria cerâmica.

Tendo em vista que a composição mineralógica do lodo influencia o desempenho da cerâmica vermelha, recomenda-se que seja feito em trabalhos futuros, análise de Difração de Raios X, para identificar qualitativamente os minerais presentes na amostra.

5.2 Determinação da Plasticidade

5.2.1 Lodo

Para a determinação da plasticidade (IP) do lodo, primeiro definiu-se o limite de liquidez (LL) da amostra, e depois o limite de plasticidade (LP), calculando-se a massa de água, a massa de sólidos e o teor de umidade.

Na Tabela 3, apresenta-se os valores obtidos para a determinação do limite de liquidez, medidos através da amostra de lodo extraída da união da base da ranhura na concha do aparelho de Casagrande, conforme descrito no item 4.1.2.2 (Limites de Consistências) do método.

Tabela 3 Resultados obtidos durante o ensaio no Aparelho de Casagrande, para a determinação do limite de liquidez.

Recipiente	1(a)	2(a)	3(a)	4(a)	5(a)
Solo+Tara+Água(g)	14,05	13,56	15,14	13,23	14,81
Solo+Tara (g)	9,41	9,41	9,72	8,82	9,72
Tara (g)	6,92	7,27	6,98	6,66	7,3
Massa de água (g)	4,64	4,15	5,42	4,41	5,09
Massa de sólidos(g)	2,49	2,14	2,74	2,16	2,42
Teor de umidade %	186,35	193,93	197,81	204,17	210,33
Nº de golpes	70	47	32	21	14

Após a obtenção dos resultados da Tabela 3, foi inserido os valores em papel semi-logarítmico, dos pontos representativos, ou seja, dos valores dos números de golpes aplicados através do aparelho de Casagrande em função da concentração do teor de umidade, como pode ser observado na Figura 16.

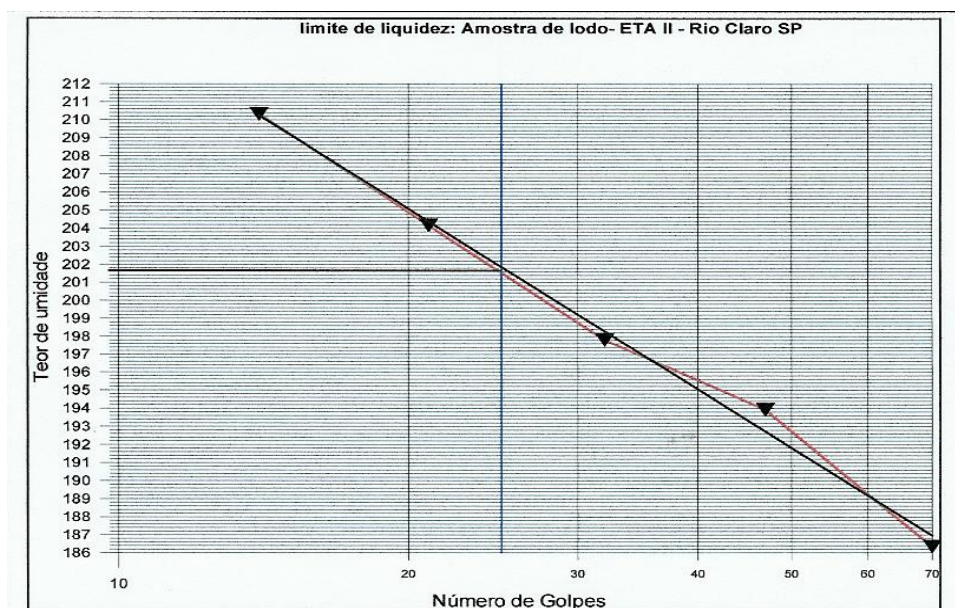


Figura 16: Gráfico de determinação do limite de liquidez.

No gráfico da Figura 16, foi traçada uma reta que melhor se ajusta aos pontos correspondentes do teor de umidade e do número de golpes, sendo o limite de liquidez do lodo, o teor de umidade que equivale a 25 golpes do aparelho de Casagrande, ou seja, 201%. Isso significa que o lodo, para continuar sendo moldável, pode absorver no máximo duas vezes mais água do que sua massa.

Conforme mencionado no método, para a determinação do limite de plasticidade, foram medidos os valores de massa de sólidos e de massa de água, dos bastonetes com fissuras, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados obtidos para a determinação do limite de plasticidade.

Recipiente	1(b)	2(b)	3(b)	4(b)
Solo+Tara+Água(g)	9,68	8,49	8,37	9,35
Solo+Tara (g)	8,6	7,45	7,18	8,48
Tara (g)	7,44	6,36	5,9	7,53
Massa de água (g)	1,08	1,04	1,19	0,87
Massa de sólidos(g)	1,16	1,09	1,28	0,95
Teor de umidade %	93,10	95,41	92,97	91,58

O limite de plasticidade é a média aritmética dos valores correspondentes ao teor de umidade expostos na Tabela 4, ou seja, é igual a 92%. Isso significa que o lodo necessita de teor de umidade de no mínimo 92% em relação a sua massa para poder ser moldável (adquirir a forma desejada por meio de pressão ou modelagem para a produção cerâmica).

Com isso pode-se inferir que, mesmo considerando a eficácia na desidratação da lagoa de lodo, em torno de 34%, estas não são o suficiente para que o lodo fosse enquadrado nos valores estabelecidos e apresentados na Tabela 5.

Para a obtenção do índice de plasticidade, subtrai-se o limite plasticidade do limite de liquidez ($IP=LL-LP$), e classifica o resultado obtido de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5: Tabela para classificação dos índices de plasticidade

Solo /Lodo	Índice de Plasticidade
Excessivamente Plástica	19 a 25
Excelente	17 a 18
Boa	15 a 16
Regular	13 a 14
Fraca	11 a 12
Material de Capa	5 a 10

Fonte: CAPUTO (1983).

O resultado obtido do índice de plasticidade é de 109%, isso significa que o lodo é um material mais que excessivamente plástico, ou seja, não se encontra inserido na classificação

utilizada normalmente. Isso provavelmente deve-se ao fato da grande umidade presente no lodo extraído da ETA II de Rio Claro-SP.

5.3 Determinação Granulométrica

5.3.1 Lodo

A determinação granulométrica do lodo foi dividida em duas etapas, a do peneiramento do material de maior diâmetro e a de sedimentação materiais finos.

Na tabela 6, estão expostos os valores obtidos na fase de peneiramento e suas respectivas malhas.

Tabela 6: Valores obtidos no peneiramento da fração areia do lodo.

#(Malha)	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retida	% Retida acumulada
4	4,76	0	0	0
10	2,00	0	0	0
16	1,19	0	0	0
30	0,59	0	0	0
40	0,42	0,02	0,04	0,04
50	0,297	0,06	0,11	0,14
60	0,25	0,03	0,05	0,2
100	0,149	0,21	0,38	0,57
200	0,074	0,65	1,16	1,73
270	0,053	0,38	0,68	2,41
Prato	<0,053	54,65	97,59	100

Esses resultados demonstram que aproximadamente 97% do material contido no lodo são representados pela fração fina, silte e argila. Os resultados dos ensaios realizados na fração fina (ensaios de sedimentação) são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados obtidos através da leitura do densímetro no ensaio de sedimentação da fração fina da amostra de lodo da ETAII de Rio Claro-SP.

Tempo (min)	0	2	4	8	15
Leitura Densímetro	Agitar	28	25	22	18
Temperatura °C	Agitar	24	24	24	24
Correção da Temperatura	Agitar	3,9	3,9	3,9	3,9
Leitura Corrigida	Agitar	24,1	21,1	18,1	14,1
Altura de Queda	Agitar	12,5	13,2	13,6	14,4
Viscosidade da Água	Agitar	9,34	9,34	9,34	9,34
Massa específica da água (g/cm ³)	Agitar	0,9973	0,9973	0,9973	0,9973
Diâmetro da Partícula	Agitar	0,038	0,028	0,020	0,015
% que passa	Agitar	77,74	68,06	58,39	45,48

Continuação da Tabela 7.

Tempo (min)	30	60	120	240	480
Leitura Densímetro	16	15	13	12	11
Temperatura °C	24	24	24	24	24
Correção da Temperatura	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Leitura Corrigida	12,1	11,1	9,1	8,1	7,1
Altura de Queda	14,8	14,9	15,4	15,5	15,8
Viscosidade da Água	9,34	9,34	9,34	9,34	9,34
Massa específica da água (g/cm³)	0,9973	0,9973	0,9973	0,9973	0,9973
Diâmetro da Partícula (mm)	0,0106	0,0076	0,0052	0,0039	0,0028
% que passa	39,03	35,81	29,35	26,13	22,9

Após a obtenção dos valores expressos na Tabela 7, foi construído o gráfico com os eixos da porcentagem de lodo que passa e que fica retida em função do diâmetro das partículas, mostrado na Figura 17.

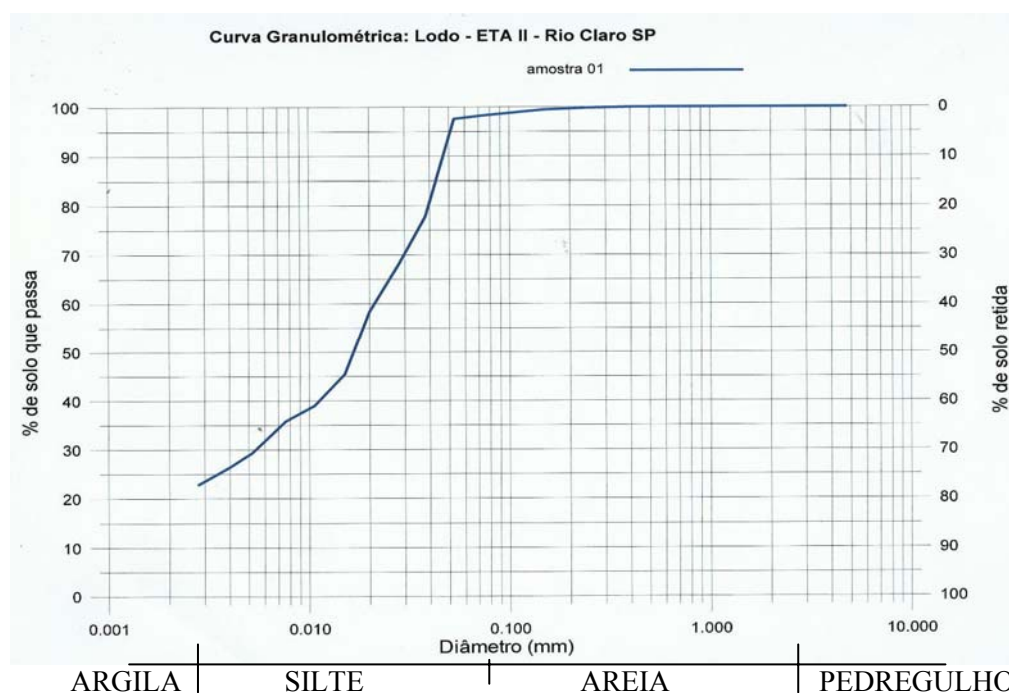


Figura 17: Curva granulométrica da amostra de lodo.

Com base na interpretação da curva granulométrica e na escala granulométrica de acordo com a norma NBR 6502 (1995), expressa na Tabela 8, pode-se afirmar que a amostra de lodo contém uma fração de aproximadamente 75% de silte, 2,4% de areia e 22,6% de argila.

Tabela 8: Escala Granulométrica de acordo com NBR 6502/95

Fração Granulométrica	Diâmetro Equivalente (ϕ)
Matacão	$200 < \phi < 1000 \text{ mm}$
Pedra de mão	$60 < \phi < 200 \text{ mm}$
Pedregulho	$2,0 < \phi < 60 \text{ mm}$
Pedregulho grosso	$20 < \phi < 60 \text{ mm}$
Pedregulho médio	$6,0 < \phi < 20 \text{ mm}$
Pedregulho fino	$2,0 < \phi < 6,0 \text{ mm}$
Areia	$0,06 < \phi < 2,0 \text{ mm}$
Areia grossa	$0,6 < \phi < 2,0 \text{ mm}$
Areia média	$0,2 < \phi < 0,6 \text{ mm}$
Areia Fina	$0,06 < \phi < 0,2 \text{ mm}$
Silte	$0,002 < \phi < 0,06 \text{ mm}$
Argila	$\phi < 0,002 \text{ mm}$

Estes resultados, não se enquadram por si só na composição granulométrica recomendada para a produção de cerâmica vermelha, mas como o lodo será utilizado na mistura lodo-argila, recomenda-se para trabalhos futuros a caracterização da composição granulométrica da mistura a ser utilizada.

5.4 Testes de Resistência

Os testes de resistência, que também podem ser chamados de ensaios cerâmicos, foram realizados em corpos de prova da mistura lodo-argila e os resultados obtidos correspondem à média dos valores de cinco corpos de prova para cada teste.

Inicialmente, após a secagem na estufa, determinou-se a densidade geométrica, e após a queima, foram analisados a absorção de água, retração linear e módulo de ruptura à flexão.

5.4.1 Determinação Pós Secagem

Esta determinação ocorreu após o esfriamento do corpo de prova que havia permanecido um período de 24 horas na estufa a 100 °C.

5.4.1.1 Densidade Geométrica

Os valores obtidos através dos cálculos de densidade geométrica dos corpos de prova, encontram-se na Tabela 9:

Tabela 9: Densidade Geométrica dos corpos de prova secos.

% de Lodo na Mistura	D(g/cm ³)
0	1,8674
5	1,7672
15	1,7156
30	1,6258

Conforme os resultados obtidos, observa-se a tendência de diminuição da densidade em relação ao aumento da adição de lodo na massa cerâmica (ver Figura 18). Esse comportamento se dá por causa do aumento do número de poros ou de seu tamanho nos corpos de prova, volatilização da matéria orgânica, e o tamanho dos grãos.

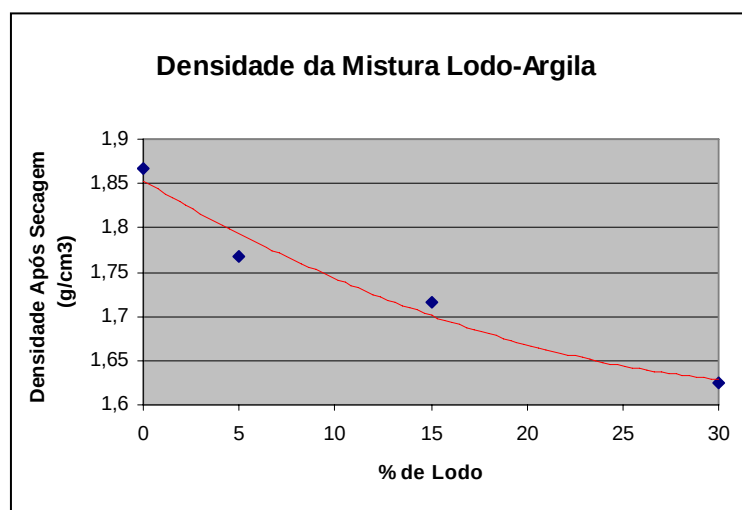


Figura 18: Comportamento da densidade em função do aumento da concentração de lodo

Com a diminuição da densidade de 1,8674g/cm³ (0% de lodo) para 1,6258g/cm³ (30% de lodo), tem-se uma maior contribuição na retração dos corpos de prova, podendo influenciar a qualidade do produto final. Toda essa porosidade é consequência, principalmente, da introdução de material mais grosso (silte) que piora o empacotamento das partículas.

5.4.2 Determinação Pós Queima

Depois de medir as dimensões dos corpos de prova a seco, eles foram encaminhados ao forno, que atingiu uma temperatura de 950°C durante aproximadamente 5 minutos. Após o resfriamento, foram novamente medidos, e assim encaminhados aos ensaios.

5.4.2.1 Absorção de Água

Para o ensaio físico de absorção de água, foram obtidos os valores médios das concentrações de água retida nos corpos de prova, depois de duas horas em água fervente. Estes resultados estão relacionados na Tabela 10.

Tabela 10: Média dos resultados de absorção de água.

% de Lodo na Mistura	AA (%)
0	17,3
5	19,1
15	21,3
30	26,1

Como consequência do aumento na incorporação de lodo na massa cerâmica, observa-se uma elevação de maneira crescente na massa de água absorvida pelos corpos de prova, de 17,3% para 26,1%. Isso significa que com o aumento da adição de lodo na argila a qualidade da mistura lodo-argila piora, porém a adição de 5% de lodo altera muito pouco as condições de absorção de água, se comparada com os resultados obtidos sem nenhuma adição de lodo (incremento de apenas 1,8%).

A Figura 19 apresenta o comportamento médio da absorção de água na massa dos corpos de prova confeccionados.

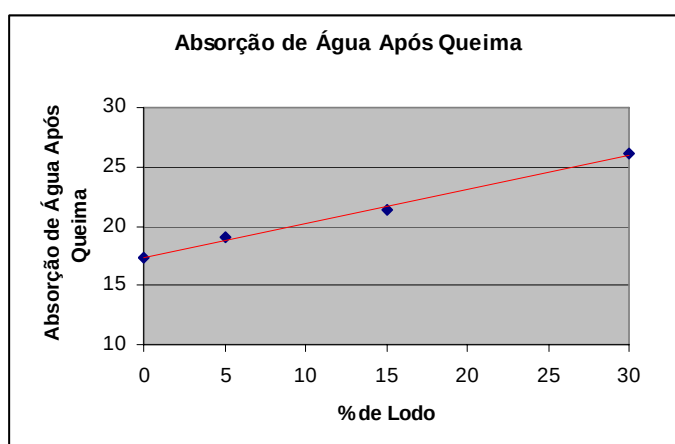


Figura 19: Resultado das médias da absorção de água após a queima em função da incorporação de lodo.

De acordo com os resultados obtidos durante o ensaio de absorção de água (Figura 19), sua interpretação e a conformidade estabelecida pela norma NBR 7171 (1992) para blocos cerâmicos de alvenaria, a absorção deve encontrar-se na faixa de 8 a 25%.

Ou seja, podemos dizer que a incorporação de 5 e 15% de lodo modifica as características da massa cerâmica, porém ainda encontra-se dentro do valor tolerável para a fabricação de peças para a indústria cerâmica vermelha.

5.4.2.2 Retração Linear

Conforme mencionado no método, foram confeccionados em laboratório corpos de prova onde e calculou-se a média dos resultados da retração linear de queima, sendo estes apresentados na Tabela 11 e Figura 20.

Tabela 11: Média dos valores de retração linear de queima.

% de Lodo na Mistura	RLQ (%)	Desvio (%)
0	-1,27	+/- 0,06
5	-1,26	+/- 0,06
15	-1,36	+/- 0,09
30	-1,63	+/- 0,14

Os resultados indicam que o aumento na adição de lodo na massa cerâmica, para as porcentagens de 15 e 30%, faz aumentar também a retração linear de queima dos corpos de prova, de -1,36% para -1,63%, respectivamente.

Já a adição de 5% de lodo faz com que a retração linear enquadre-se dentro da margem de erro (desvio padrão) do ensaio realizado no corpo de prova somente com argila, ou seja, essa diferença de aproximadamente 0,01%, não é uma diferença real. Assim, a adição de 5% de lodo na mistura, pode ser adequada para a utilização na massa cerâmica.

A importância destes ensaios deve-se ao fato de a retração que os produtos sofrem após secagem e queima é consequência da eliminação de água utilizada para a formação e modelagem do produto. A água, após ser eliminada, deixa vazios que permite a aproximação de partículas argilosas devido as forças de atração eletrostáticas gerando aglomeração. Após a queima, a retração torna-se consequência dos mecanismos de sinterização (aproximação das partículas) que ocorre por difusão no estado sólido, uma vez que nessa temperatura não ocorre fusão dos minerais componentes, ou seja, a eliminação de uma parcela dos poros existentes na mistura seca.

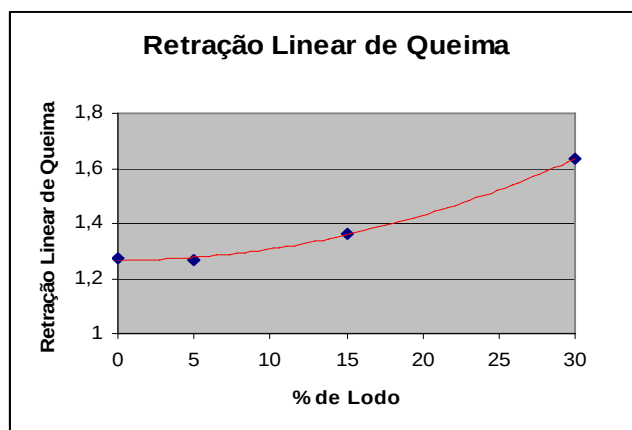


Figura 20: Comportamento da adição de lodo na retração linear dos corpos de prova

A Figura 20 apresenta o comportamento médio dos resultados de retração linear de queima em relação à concentração de lodo adicionada na argila.

Cabe lembrar que, com o aumento da temperatura a retração linear tende a aumentar, devido a maior eficiência na difusão e, posteriormente, à formação de uma fase líquida.

5.4.2.3 Módulo de Ruptura à Flexão

Os resultados médios obtidos após o teste do módulo de ruptura à flexão estão representados na Tabela 12.

Tabela 12: Média dos valores do teste do Módulo de Ruptura à Flexão.		
% de Lodo na Mistura	MRF(MPa)	Desvio (MPa)
0	7	+/- 1,2
5	6	+/- 0,26
15	5	+/- 0,51
30	2	+/- 1,4

Analisando a tabela, observa-se que, com o aumento da massa de lodo na mistura lodo-argila, os corpos de prova ficam mais frágeis, ou seja, a adição do lodo diminui a resistência à flexão do produto, de 7 MPa (0% de lodo) para 2 MPa (30% de lodo).

A adição de 30% do lodo na argila torna-se inviável, pois reduz em muito a resistência mecânica do material final dificultando até o seu manuseio no momento dos testes. Entretanto, a incorporação de 5 e 15%, encontra-se próximas ao valor obtido nos testes com argila pura (7 MPa).

Na Figura 21, pode ser observado o comportamento médio da variação da % de lodo adicionada à argila em função da resistência de ruptura à flexão dos corpos de prova.

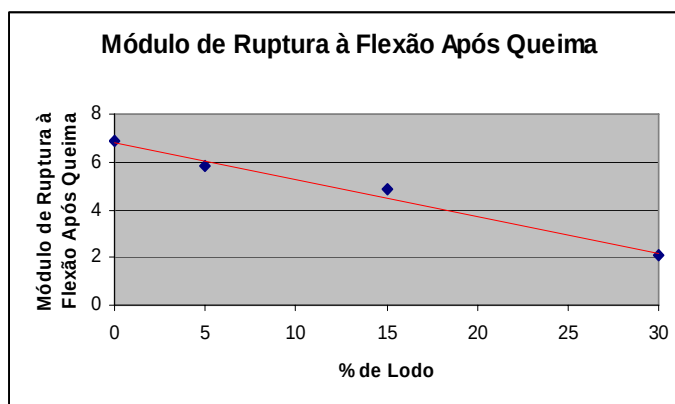


Figura 21: Módulo de ruptura à flexão da mistura lodo-argila

Sendo assim, para concluir sobre a incorporação do lodo na massa cerâmica sob o ponto de vista do módulo de ruptura à flexão, recomenda-se que sejam feitas outras análises

estatísticas mais detalhadas para verificar as resistências mecânicas das concentrações de 5 e 15%.

5.4.2.4 Perda ao Fogo

Os valores das médias obtidas após a queima dos corpos de prova, estão relacionados na Tabela 13.

Tabela 13: Concentração média da massa de perda ao fogo.

% de Lodo na Mistura	% PF
0	-4,5
5	-5,3
15	-6,4
30	-7,8

Conforme observado na Tabela 13 e na Figura 22, a perda de massa ao fogo, aumenta com a adição de lodo na massa cerâmica de 4,5% para 7,8%, para as mistura de 0% de lodo e 30%, respectivamente, ou seja, há uma diminuição na qualidade da mistura com o incremento crescente do lodo.

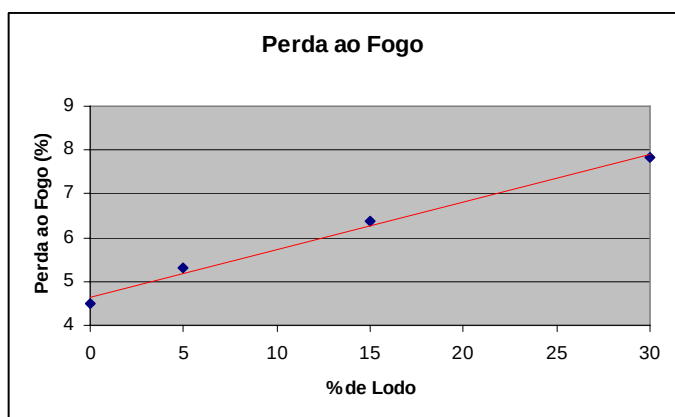


Figura 22: Comportamento médio da mistura lodo-argila durante o ensaio físico de perda ao fogo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo observou-se que o maior obstáculo para a incorporação de lodo estudado na produção de peças para a indústria cerâmica vermelha foi à sua distribuição granulométrica. Como o lodo da amostra coletada da ETA II de Rio Claro-SP, contém na sua composição silte em grande quantidade (75%), a resistência dos corpos de prova com a mistura fica comprometida, ou seja, o empacotamento das partículas foi prejudicado, devido

aos espaços vazios que sobraram, necessitando assim, de mais grãos finos (argila) para preencher os estes vazios.

Outro ponto importante para se destacar é a heterogeneidade, devido as diferentes composições, que a massa cerâmica (mistura) terá com a adição do lodo estudado, o que pode provocar problemas na aparência e qualidade no produto final.

Todos os ensaios realizados na amostra estudada permitem aferir que o lodo da ETA II de Rio Claro-SP, foi prejudicial ao desempenho da cerâmica, principalmente no que diz respeito a Densidade Geométrica a seco, Absorção de Água, Perda ao Fogo, Módulo de ruptura à Flexão e Retração Linear de queima, sendo os parâmetros de Absorção de Água e Módulo de Ruptura à Flexão os mais importantes a serem analisados no que diz respeito a qualidade das peças cerâmicas. Entretanto a incorporação de 5% de lodo na massa apresentou resultados próximos aos obtidos sem a incorporação.

Assim, recomenda-se que, caso a incorporação de lodo de ETA na argila para a fabricação de cerâmica vermelha, seja a alternativa selecionada para o caso de Rio Claro-SP (ETAII), o valor da mistura não deve ultrapassar 5% (lodo) sob pena de perda demasiada da qualidade do produto final (cerâmica vermelha), principalmente no que diz respeito à densidade geométrica a seco, absorção de água e perda de massa ao fogo após queima.

Outra opção é incorporar o lodo em argilas muito plásticas, com excesso de finos. Existem olarias onde material argiloso é misturado com outro mais grosseiro para fazer a correção da qualidade da massa cerâmica.

Sob o ponto de vista do saneamento, a utilização do lodo como matéria prima para a produção de cerâmica vermelha é mais uma alternativa de disposição final entre outras já existentes. Sob o ponto de vista da indústria cerâmica, trata-se de uma forma de prolongar a vida útil de suas jazida de extração de argila, sem comprometer demasiadamente a qualidade do produto final.

A viabilidade dessa incorporação ser aplicada na prática depende de algumas decisões, investimentos e etapas a serem cumpridas. Entre elas, quem será o responsável pela desidratação do lodo: a ETA, a Olaria ou uma estação de tratamento de lodo que poderá cobrar para receber o resíduo (lodo) de todas as ETAs inseridas dentro da mesma bacia de hidrográfica. A ETA de Rio Claro-SP, depende de altos investimentos; as olarias são locais de produção mais rústicas, sem muita tecnologia e dificilmente investirão no processo de desidratação do lodo. Portanto uma proposta para a implantação desse processo é o Comitê de Bacias Hidrográficas unir forças e investimentos do setor público e privado e construir um local adequado para a desidratação dos lodos de ETAs.

Outra maneira mais simples de viabilizar a utilização do lodo de ETA no processo cerâmico é a sua incorporação na etapa de umidificação da massa cerâmica, ou seja, ao invés de adicionar água utiliza-se o lodo úmido.

7. CONCLUSÕES

O trabalho mostrou que há viabilidade de se incorporar lodo de ETA na massa cerâmica para a produção de cerâmica vermelha.

Comparando os resultados das alterações nas propriedades físicas dos corpos de prova, de acordo com a variação da incorporação do lodo na massa de argila para a produção de cerâmica vermelha, verificou-se que caso a incorporação de lodo seja a alternativa adotada pela ETA II do município de Rio Claro-SP, a concentração de 30% de lodo na mistura lodo-argila é inviável, porém a concentração de 5% é indicada, pois apresenta resultados próximos aos obtidos sem a adição de lodo.

8. RECOMENDAÇÕES

- Realizar em trabalhos futuros, análise de Difração de Raios X, para identificar qualitativamente os minerais presentes na amostra.
- Verificar a composição granulométrica da mistura lodo-argila a ser utilizada para a produção de cerâmica vermelha.
- Incluir lixiviação e solubilização da mistura utilizando o lodo da ETAII de Rio Claro-SP, nos ensaios a serem realizados, para a possível avaliação do risco de contaminação do resíduo de construção depois de terminada a sua vida útil.
- Verificar o impacto da incorporação, sob a óptica dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. **Estudos de materiais de construção civil: materiais alternativos**. In: Tecnologia da Edificações. Projeto de divulgação tecnológica da Cunha. São Paulo: PINI, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Divisão de Edificações, 1988. p. 75-78.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, 2004. 33p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7171: Bloco Cerâmico para Alvenaria – Condições Gerais.** Rio de Janeiro, 1992. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02:101.01-006: Componentes Cerâmicos – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2004. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos – Terminologia.** Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimentos - especificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 1997. 78 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. v. 2, 526 -570 p.

BIDONE, F.; SILVA, A. P.; MARQUES, D. da M. Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs): Desidratação em Leitos de Secagem e Co-disposição em Aterros Sanitários. In: ANDREOLI, C. V. (coord.). **Resíduo Sólido do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final.** Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 2001. p.215-244.

CAMPOS, J. R.; POVINELLI, J. Coagulação e Floculação. In: AZEVEDO, J. M. N. (Org.) **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água – Tratamento de Água.** São Paulo: CETESB, 1976. 2º ed. v.2 . cap 19.

CORDEIRO, J. S. Importância do tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs. In: REALI, M. A. P. (Org.). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap.1.

CHRISTOFOLETTI, S. R. **Um Modelo de Classificação Geológico - Tecnológica das Argilas da Formação Corumbataí Utilizadas nas Indústrias do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes.** 2003. 174 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2003.

DI BERNARDO, L.; CARVALHO, E. H.; SCALIZE, P. S. Disposição de Resíduos Líquidos de ETAs em ETES. In: REALI, M. A. P. (Org.). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap.8.

FONSECA, J. F.; FERNÁNDEZ, T. H.; BERNARDIN, A. M. **Manual para a produção de cerâmica vermelha**. Florianópolis: UFSC/SEBRAE, 1994. 81p.

FUNASA- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Portaria nº518, 25 de março de 2004. **Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 32 p.

GASPAR, L. A. Jr. **Adição Experimental de Novos Materiais às Argilas da Região do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes (SP)**. 2003. 170 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2003.

GOMES, C. F. **Argilas o que são e para que servem**. Lisboa: Fundação Cal Gulbenkian, 1988. 457 p.

GREGO, M. I. B. M. **Estudo dos Efeitos da Aditivção de Argilas com Torta de Filtração para Produzir Blocos de Vedação**. 1998. 103 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1998.

GUERRA, R. C. **Caracterização e Biodegradação de Lodo de Estações de Tratamento de Água para Descarte em Aterro Sanitário**. 2005. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2005.

INGUNZA, M. P. D. et al. Uso de Resíduos do Saneamento na Fabricação de Cerâmica Vermelha. In: ANDREOLI, C. V. (Org.). **Biossólidos: Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. cap.9.

IOSHIMOTO, E.; THOMAZ, E. **Materiais cerâmicos para construção civil**. São Paulo: USP, 1990. 102 p.

JORDÃO, M. A. P.; ZANDONADI, A. R. **Informações Técnicas – Anuário Brasileiro de Cerâmica**. Associação Brasileira de Cerâmica, São Paulo, 2002. p. 26-64.

OLIVEIRA, K. R. B.; CARASEK, H.; OLIVEIRA, L. H. **Avaliação das características e propriedades físicas e mecânicas de blocos cerâmicos produzidos na região metropolitana de Goiânia- GO**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 46, 2002, São Paulo-SP. Anais...São Paulo, 2002b. (CD-ROM)

REALI, M. A. P. Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs. In: REALI, M. A. P. (Org.) **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap.2.

RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. 102 p.

ROMAN, H. R. **Determinação da características físicas e análise estatística da capacidade resistente de tijolos cerâmicos maciços**. Porto Alegre: UFRGS, 1983. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.

SANTOS, I. S. S.; SILVA, N. I. W. **Manual de cerâmica vermelha**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 1995. 56 p.

SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/estadual/decretos/1997_Dec_Est_10755.pdf>. Acesso em: 3 de jun. 2007.

SILVA, M. O. S. A. **Análises Físico-Químicas para Controle de Estações de Tratamento de Esgotos**. 1ª ed. São Paulo: CETESB, 1977, 226 p.

SILVA, N. C.; SILVA, A. D.; GUIMARÃES, M. C.; SORDI, V. L.; MARTINS, C. A. (CD-ROM). **Qualidade dos produtos e relações com a indústria da construção civil em São Carlos- SP**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 45, 2001, Florianópolis-SC. Anais... Florianópolis, 2001.

TEIXEIRA, S. R. et. al. Caracterização de Resíduo de Tratamento de Água (ETA) e de Esgoto (ETE) e o Estudo da Viabilidade de seu Uso pela Indústria Cerâmica. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 28, 2002, Cancun, MEX. **Anais eletrônico...** Cancun: trabalho apresentado, 2002. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iii-035.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2007.

THOMAZ, E. **Alvenaria para pequenas construções: alguns dados para projeto e execução**. In: **Tecnologia de Edificações**. Projeto de divulgação tecnológica da Cunha. São Paulo: PINI, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Divisão de Edificações. 1988. 215-218 p.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. Tradução de E. Monteiro. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 565 p.

VILLAR, V. S. **Perfil e perspectivas da indústria da cerâmica vermelha do sul de Santa Catarina**. 1988. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – PPGECC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1988.