

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GEOVANNE RICARDO STANGE GHIZONI

**FABRICAÇÃO DE PASTILHAS CERÂMICAS COM LODO
PROVENIENTE DE ESTACOES DE TRATAMENTO DE ÁGUA-
ESTUDO DE CASO, ETA- PATO BRANCO, PARANA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2013

GEOVANNE RICARDO STANGE GHIZONI

**FABRICAÇÃO DE PASTILHAS CERÂMICAS COM LODO
PROVENIENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO, ETA PATO BRANCO, PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná,
Câmpus Pato Branco.

Orientadora: Prof^a. Dr^a.Andrea Sartori
Jabur
Co-Orientador: Prof.Dr.José Ilo Pereira
Filho

PATO BRANCO

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

FABRICAÇÃO DE PASTILHAS CERÂMICAS COM LODO PROVENIENTE DE ETA- ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO ETA- PATO BRANCO- PR

GEOVANNE RICARDO STANGE GHIZONI

Aos 13 dias do mês de agosto do ano de 2013, às 13h30min, na Sala de treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão do curso foi julgado e, após membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 17- TCC/2013.

Orientador: Prof^a. Dr^a. ANDREA SARTORI JABUR (DACOC/ UTFPR-PB)

Co-orientador: Prof. Dr. JOSÉ ILO PERREIRA FILHO (DACOC/ UTFPR- PB)

Membro 1 da banca: Prof. Msc. NORMELIO VITOR FRACARO (DACOC/ UTFPR-PB)

Membro 2 da banca: Prof^a. Dr^a. ELIZÂNGELA M. SILIPRANDI (DACOC/
UTFPR- PB)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre estar me iluminando e dando força e coragem para caminhar com fé e perseverança.

À Profª Drª Andrea Sartori Jabur pela valiosa orientação, pelos ensinamentos que proporcionaram meu crescimento pessoal e profissional, pelos incentivos e pela confiança que despertou meu profundo respeito e admiração.

Ao Prof Dr José Ilo Perreira Filho pela co-orientação e pelos ensinamentos para a realização da pesquisa.

Ao Prof Especialista Sergio Tarciso Rambo por disponibilizar o laboratório de solos para a realização dos ensaios.

À Profª Drª Caroline Angulski da Luz por gentilmente disponibilizar o laboratório de materiais para a realização dos ensaios.

À Sanepar nas pessoas do Sr Romulo Ruiz Gasparini e da Sra Kellen Braun, e demais funcionários pela colaboração e auxílio na coleta do lodo.

Aos meus colegas pela ajuda prestada e companhia durante os “dias e noite” de realização dos experimentos.

À minha família, pela confiança e carinho, em especial a minha irmã Tatiane, pelo seu exemplo, incentivo e apoio em todos os momentos da minha vida.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar a confecção de pastilhas cerâmicas artesanais, destinadas a serem produzidas pela comunidade carente da cidade de Pato Branco-PR, a partir de resíduos industriais como alternativa de reciclagem para as empresas geradoras. O resíduo industrial utilizado neste trabalho como matéria prima foi o lodo de Estação de Tratamento de Água do município. Para a realização da pesquisa, o lodo foi desidratado *in natura* e em filtro. Após a secagem do mesmo, ele foi misturado com cimento, areia, cal e argila formando traços para a realização da pesquisa. Com os traços escolhidos, foram moldadas as primeiras pastilhas cerâmicas testes com os moldes e procedimentos adotados. Posteriormente os traços que tiveram os melhores desempenhos relacionados à coloração, retração, resistência à compressão, presença de trincas e espaços vazios, foram adotados para a continuação do trabalho. Ao final, as pastilhas cerâmicas onde foram utilizados 10 a 15% de lodo no traço (traço 1-2% Cimento, 5% Areia, 8% Cal, 15% Lodo e 70% Argila. Traço 2- 2% Cimento, 5% Areia, 8% Cal, 10% Lodo e 75% Argila), observou-se um comportamento satisfatório com relação às características já elencadas.

Palavras-chave: lodo. Estação de Tratamento de Água. Pastilha cerâmica.

ABSTRACT

This work aims at presenting the confection of handcrafted ceramic mosaics, destined to be produced by the poor community of the city of Pato Branco, starting from industrial wastes of recycling as an alternative to the generating companies. The industrial waste utilized as raw material in this work was the sludge of Water Treatment Station of municipality. For the accomplishment the research methodology, the sludge was dehydrated in natura and in filter. After drying the slurry, the same was blended with cement, lime, sand and clay forming traces for the realization the search. With the traits chosen were molded the first few tests with ceramic mosaics the molds and procedures adopted. Posteriorly the traits that had the best performances as staining retraction, compressive strength, presence of cracks and empty spaces were adopted for the continuation of the work. At the ceramic mosaics where were utilized 10 to 15% of sludge in the dash (dash 1-2% cement 5% sand, 8% lime, 15% slime and 70% clay. Dash 2 - 2% cement 5% sand, 8 lime%, 10% Silt and 75% Clay), we observed a satisfactory behavior in issue staining, retraction, compressive strength, presence of cracks and empty spaces.

Key words: sludge, Water Treatment Station, ceramic mosaics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano.....	15
Figura 2:Corpo d'água antes e após receber os resíduos da ETA	20
Figura 3: Furos e bolhas ocasionados pela utilização de lodo na confecção de peças cerâmicas	21
Figura 4: Matéria orgânica encontrada no lodo da ETA de Pato Branco	22
Figura 5: Mapa do Paraná com ênfase em Pato Branco.....	28
Figura 6: Aplicação do PAC na ETA de Pato Branco	29
Figura 7: Tanque de floculação da ETA de Pato Branco.....	29
Figura 8: Decantadores de Pato Branco	30
Figura 9: Filtros da ETA de Pato Branco.....	30
Figura 10: Desinfecção da água na ETA de Pato Branco	31
Figura 11:reservatório de acumulação de águas de lavagens de filtros e dos decantadores.....	31
Figura 12: Perspectiva do suporte de madeira – projeto e execução	33
Figura 13:Tambor de água mineral sem o fundo – projeto e execução	33
Figura 14: Fixação da mangueira, da garrafa e tela de plástico no tambor – projeto e execução	34
Figura 15: Posicionamento do tambor sobre o suporte e da garrafa pet 2,5 l – projeto e execução	35
Figura 16: Pedra brita 1 e 2 dentro do tambor do filtro – projeto e execução.	35
Figura 17: Perspectiva digital e real do filtro de secagem do lodo.....	36
Figura 18: Aparelho de Casagrande	37
Figura 19: Cilindro e soquete de compactação	41
Figura 20: Molde I.....	43
Figura 21: Amostras testes com 2 cm de espessura e molde I	44
Figura 22: Procedimento de fabricação da pastilha cerâmica	45
Figura 23: Ensaio de limite de liquidez do lodo	47
Figura 24: Gráfico limite de liquidez do solo.....	48
Figura 25: Gráfico de limite de liquidez do traço 1	49
Figura 26: Gráfico do limite de liquidez do traço 2	50
Figura 27: Ensaio cone de Imhoff	52
Figura 28: Retirada do corpo de prova do cilindro.....	53
Figura 29: Gráfico de compactação dos traços 1 e 2	54

Figura 30: Presença de trincas e vazios nas amostras testes.....	55
Figura 31: Coloração das amostras testes.....	56
Figura 32: Gráficos de ruptura das amostras testes.....	57
Figura 33: Máquina de ensaio.....	59
Figura 34: Molde II para confecção das pastilhas cerâmicas testes.....	60
Figura 35: Amostras testes molde II com espessura de 1,3 cm	61
Figura 36: Impurezas encontradas nas pastilhas cerâmicas.....	61
Figura 37: Corpo de prova dos traços estudados 1 e 2.....	62
Figura 38: Amostras testes molde II espessura de 0,8 cm.....	63
Figura 39: Consistência da tinta.....	65
Figura 40: Pastilhas pintadas com as tintas confeccionadas.....	65
Figura 41: Mosaicos com as pastilhas cerâmicas estudadas	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Energias de compactação.....	40
Tabela 2: Limite de liquidez do lodo.....	47
Tabela 3: Limite de liquidez dos traços.....	49
Tabela 4: Limite de plasticidade traço 1.....	51
Tabela 5: Limite de plasticidade traço 2.....	51
Tabela 6: Expressão do resultado.....	52
Tabela 7: Resultado de compactação Traço 1.....	53
Tabela 8: Resultado de compactação Traço 2.....	53
Tabela 9: Amostras testes.....	54
Tabela 10: Retração das amostras testes.....	56
Tabela 11: Retração das pastilhas cerâmicas com espessura de 1,3 cm.....	62
Tabela 12: Resistência dos traços estudados.....	62
Tabela 13: Retração das pastilhas cerâmicas com espessura de 0,8 cm.....	64
Tabela 14: Pesquisa de preferencia das cores das pastilhas.....	67
Tabela 15: Grupos de absorção de água.....	69
Tabela 16: Ensaio de Absorção de água das pastilhas cerâmicas.....	69
Tabela 17: Codificação dos grupos de absorção de água em função do método de fabricação.....	69
Tabela 18: Estágios de abrasão.....	70
Tabela 19: Codificação dos níveis das resistências químicas.....	71
Tabela 20: Classificação das pastilhas cerâmicas.....	72
Tabela 21: Preço médio de Pato Branco para o material utilizado para a secagem do lodo.....	72
Tabela 22: Preço médio de Pato Branco para os materiais utilizados para a fabricação da pastilha cerâmica.....	72
Tabela 23: Preço médio de Pato Branco para o material utilizado para a confecção da tinta.....	73
Tabela 24: Preço médio para a fabricação de 1 milheiro de pastilha cerâmica.....	73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1.OBJETIVOS.....	12
1.1.1.Objetivo geral.....	12
1.1.2.Objetivos específicos	12
1.2.JUSTIFICATIVA.....	12
2.ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA- ETA	14
2.1.Tratamento da água Convencional	16
2.2.Geração de resíduos da ETA.....	18
2.2.1.Classificação dos resíduos sólidos.....	19
2.2.2.Resolução do CONAMA e crimes ambientais	19
2.3.Aplicações do lodo.....	20
3.PASTILHAS CERÂMICAS	23
3.1.Demais componentes da pastilha	24
3.1.1.Cimento Portland	24
3.1.2.Cal	25
3.1.3.Areia	25
4.MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1.Tipo de pesquisa.....	27
4.2.Cenário de pesquisa	27
4.3.Procedimentos utilizados	31
4.3.1.Coleta da matéria prima.....	32
4.3.2.Secagem do lodo em filtro	32
4.3.3.Secagem do lodo In natura	36
4.3.4.Limite de liquidez	36
4.3.5.Densidade do lodo	38
4.3.6.Limite de plasticidade do solo	38
4.3.7.Determinação da umidade	39
4.3.8.Ensaio de compactação.....	39

4.3.9.Sólidos Sedimentáveis.....	41
4.3.10.Modelos de traços e molde adotado	42
4.3.11.Molde II e espessura das pastilhas	44
4.3.12.Confecção das tintas.....	46
4.3.13.Classificação das pastilhas cerâmicas	46
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5.1.Análises das características do lodo.	47
5.1.1.Limite de liquidez do lodo e dos traços estudados.	47
5.1.2.Limite de plasticidade do solo e dos traços.	51
5.1.3.Sólidos sedimentares.....	52
5.1.4.Ensaio de compactação.....	52
5.2.Resultados para as pastilhas com 2 cm de espessura.....	54
5.3.Resultados das pastilhas com Molde II e com 1,3 cm de espessura.....	60
5.4.Resultados das pastilhas com Molde II e com 0,8 cm de espessura.....	63
5.5.Confecções das tintas, pintura das pastilhas cerâmicas e confecção do mosaico	64
5.6.Classificação das pastilhas.	68
5.6.1.Esmaltada e não esmaltada.....	68
5.6.2.Métodos de fabricação.....	68
5.6.3.Grupos de absorção de água.....	69
5.6.4.Classes de resistência à abrasão superficial.....	70
5.6.5.Classes de resistência ao manchamento ou classes de limpabilidade.....	70
5.6.6.Classes de resistência ao ataque de agentes químicos.....	71
5.6.7.Aspectos superficiais ou análise visual	71
5.7.Orçamento	72
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS.....	77
ANEXOS	80
ANEXO 1: Tabela- Parâmetros físicos- químicos	81

1. INTRODUÇÃO

A Estação de Tratamento de Água (ETA), não se difere de qualquer outra indústria, onde a mesma possui uma matéria prima a água *in natura*, posteriormente aos processos é trabalhada e transformada em um produto final, assim consequentemente tem geração de um resíduo. Com o aumento da população urbana nos últimos anos, implicou-se no aumento da produção da água tratada, para isso, é necessária água de qualidade e vazão necessária para o abastecimento (WIECHETECK, 2002).

Segundo Menezes (2002) Apud M. Junior (2009) os resíduos industriais urbanos vêm se tornando um dos principais problemas que a sociedade moderna enfrenta. No Brasil, não diferente do resto do mundo a preocupação com o meio ambiente a cada dia é mais evidente. Com isso novas leis a cada dia são discutidas e aprovadas.

Assim sendo umas das maiores preocupação hoje das indústrias é a destinação final do seu resíduo. O mesmo ocorre com as ETAs que necessitam de uma destinação final do lodo proveniente dos seus processos, pois por lei ambiental, este lodo fica proibido de ser lançado nas galerias pluviais e são carreadas até os corpos d'água. Para isso são necessários estudos de avaliação da qualidade deste lodo e a destinação ambiental adequado. Este é o caso da ETA de Pato Branco, que deve destinar o lodo corretamente.

Considerando o solo da região (terra roxa estruturada – argiloso) e a classe do Rio Pato Branco - manancial da cidade - como classe 2¹, considera-se que o lodo poderá ter uma grande quantidade de argila, de modo que poderá ser utilizado para a realização de fabricação de pastilhas artesanais, de fácil fabricação e baixo custo, de modo a incentivar tanto a companhia de saneamento como a comunidade carente, a fabricação das pastilhas.

Para tanto o trabalho foi desenvolvido da seguinte forma: (i) levantamento bibliográfico sobre o tema, adestrando sobre estação de tratamento de água, geração de resíduos e classificação do lodo; (ii) definição dos ensaios a serem realizados bem como os materiais e procedimentos

¹ Informações pessoais obtidas pela professora Andrea Sartori Jabur (2013).

necessários; *(iii)* exposição dos resultados e análise dos mesmos; *(iv)* por fim, apresenta-se as considerações finais e a resolução dos objetivos do trabalho

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Estudar e avaliar a qualidade do lodo proveniente de uma ETA (Estação de Tratamento de Água), voltado para a fabricação de pastilhas cerâmicas, tendo como estudo de caso, a ETA da cidade de Pato Branco.

1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são;

- Pesquisar bibliográfico sobre o tema;
- Avaliar a qualidade do lodo de ETA;
- Realizar um processo de adensamento para retirada da água excessiva do lodo;
 - Confeccionar um molde para as pastilhas, com a determinação de alguns traços;
 - Propor as pastilhas cerâmicas de lodo de ETA como um novo produto para o mercado com custos baixos;
 - Avaliar a característica do produto finalizado, com uma pesquisa de opinião pública (alunos de graduação e professores universitários).

1.2. JUSTIFICATIVA

Ao destinar o lodo proveniente de ETAs para os cursos d'água este influenciam no ciclo hidrológico dos rios, através do aumento de vazão e a poluição dos mesmos, com o aumento de cor e turbidez. Logo, tem-se a importância do reaproveitamento do lodo, transformando um material sem utilidade em algo ecologicamente correto e um produto de qualidade garantindo a acessibilidade econômica da classe trabalhadora.

Pretende-se comprovar que o lodo da ETA de Pato Branco pode ser utilizado para a fabricação de pastilhas cerâmicas com qualidade e durabilidade. Com isso serão produzidas as pastilhas de maneira artesanal facilitando a fabricação e baixando o custo do produto, de modo a dar um destino ao lodo da ETA, ou seja, ao resíduo do processo de tratamento da água. E ainda oportunizando à comunidade carente a produzir uma pastilha de qualidade com baixo custo, com a possibilidade de geração de renda para a mesma.

2. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA- ETA

Ao falar em água potável, o que se imagina é uma água incolor, inodora, insípida e que sua composição química é de hidrogênio e oxigênio, esta seria a água pura e saudável para o consumo humano. Mas ao contrário do que muitos imaginam, a água é uma substância muito complexa. “Por ser um excelente solvente, até hoje ninguém pôde vê-la em estado de absoluta pureza. Quimicamente sabe-se que, mesmo sem impurezas, a água é a mistura de 33 substâncias distintas”. (RICHTER e NETO, 2007, p. 1).

Segundo Silveira (2012, p. 19) “A água em seu estado natural, quando coletada em mananciais, apresenta inúmeras impurezas que podem causar efeitos deletérios à saúde humana”.

As Estações de Tratamento de Água- ETAs são projetadas e operadas para remover determinadas impurezas, produzindo água com características que atendam ao padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.

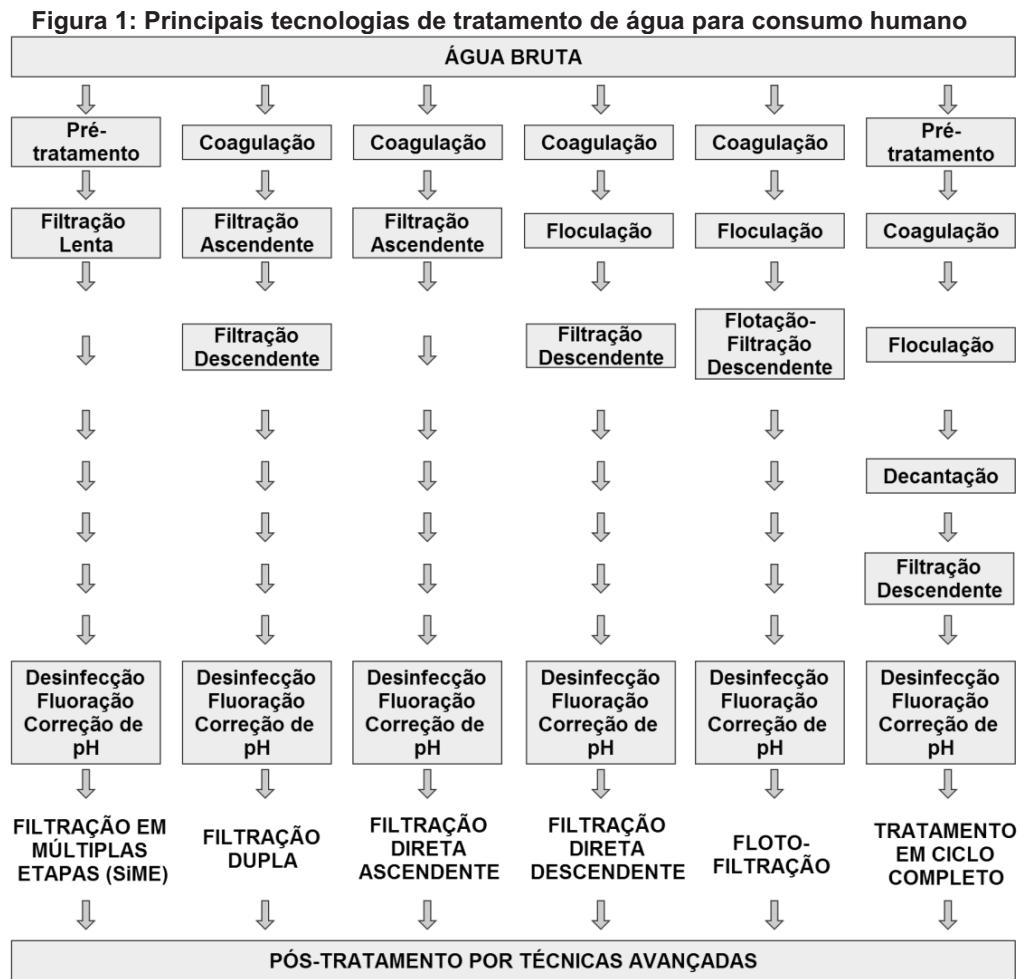
O tratamento da água visa reduzir a concentração de poluentes até o ponto em que não apresente riscos para a saúde humana, sendo assim, a importância do saneamento em conjunto com a saúde humana remota as mais antigas culturas. O saneamento desenvolveu-se de acordo com a evolução das diversas civilizações, em alguns casos retrocedendo, ora renascendo com o aparecimento de outras (BRASIL, 2004).

Segundo Wiecheteck (2002) os sistemas de tratamento de água compreendem não somente na ETA e sim desde o manancial de abastecimento a captação de água, adutora e a ETA, onde a mesma transforma a água *in natura* retirada da natureza em água potável, gerando resíduos que retornam ao meio ambiente de maneira inadequada.

O desenvolvimento tecnológico também vai intervir no processo de purificação da água potável, dessa forma Libânio (2010) defende que algumas premissas devem ser pautadas para a escolha mais adequada da tecnologia utilizada para o tratamento da água, como: características de água *in natura*, custos de implantação, manutenção e operação, manuseio e confiabilidade dos equipamentos, flexibilidade operacional, localização geográfica e características da comunidade e disposição final do lodo.

Conforme a resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente)357/2005, o tratamento da água *in natura* pode ser classificado em três tipos: tratamento simples (filtração e desinfecção), tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção) e o tratamento convencional em conjunto com o avançado.

A ETAs tem como objetivo a clarificação e desinfecção da água *in natura*, e a distribuição da água potável á população. As etapas de diferentes tratamentos estão apresentadas na Figura 1



Fonte: Adaptado de Silveira (2012).

Conforme ilustrado na Figura 1, há várias tipologias de tratamento de água, cuja determinação irá depender da classificação da água, conforme a Resolução CONAMA 357/2005. De acordo com Silveira (2012) as ETAs que constituem seu processo pela sequência de coagulação, floculação,

sedimentação, filtração e desinfecção são chamadas de ETAs por ciclo completo ou tratamento convencional, onde os principais resíduos são gerados principalmente nas unidades de sedimentação e filtração, onde são chamados respectivamente de lodos de decantadores e águas de lavagem de filtros. Assim a ETA de Pato Branco é classificada como uma ETA por ciclo completo, também denominado como tratamento convencional.

No processo por ciclo completo, após a captação da água e transporte até a ETA pela adutora, é realizada a adição de produtos químicos com união de processos físicos, de modo a adequá-la ao consumo humano quanto ao aspecto sanitário, estético e econômico (FONTANA, 2004 Apud SILVEIRA, 2012). Esse modelo de tratamento vai de uma simples desinfecção há um tratamento mais complexo. A maioria das cidades brasileiras, conforme descrito em Richter (2009) adotam o tratamento convencional, dividindo-se nas seguintes etapas:

- Coagulação;
- Floculação;
- Decantação;
- Filtração;
- Desinfecção;
- Fluoretação

2.1. Tratamento da água Convencional

- 1º etapa: Coagulação.

Segundo descrito por Silveira (2012), no processo de coagulação é adicionado um produto químico onde se dá início ao processo de tratamento da água. A adição do mesmo é realizada na unidade de mistura rápida, a qual pode ser feita de maneira hidráulica ou mecânica, com o objetivo de alterar as propriedades do material em suspensão ou coloidal para posteriormente realizar a sua remoção. É nesta etapa que ocorre o processo de desestabilização das partículas.

Os coagulantes utilizados nas ETAs geralmente são os Sulfatos de Alumínios, os Cloretos Férricos e atualmente o PAC (Policloreto de Alumínio) (RICHTER, 2009).

- 2º etapa: Floculação.

Esse é o processo que dará continuidade ao processo de coagulação. Segundo Silveira (2012), a água coagulada, inicia o processo de aglutinação das partículas em suspensão, através de um regime laminar, que pode ser realizado por unidades mecanizadas ou hidráulicas (agitação lenta).

Em tanques de concreto a floculação transforma as partículas em flocos mais pesados, onde os pequenos micro flocos se aglutinam formando um único floco, assim ao saírem dos tanques de floculação, estes devem ter tamanho e densidade adequado ao processo de remoção, desta forma os flocos ganham peso, volume e consistência (RICHTER, 2009).

- 3º etapa: Decantação.

Nesse processo as águas são encaminhadas para os decantadores, para ocorrer o processo de sedimentação das partículas, de acordo com (RICHTER, 2009).

“Na decantação os flocos são separados do meio aquoso por meio de sedimentação, que consiste na ação da força gravitacional sobre as partículas”. (DI BERNARDO e DANTAS, 2005 Apud SILVEIRA, 2012, p. 24). Ou seja, as impurezas que se aglutinaram em forma de flocos, vão se separar da água pela ação da gravidade e vão para o fundo do decantador. A água é coletada pelas calhas, nas partes superiores dos decantadores, e direcionada para a próxima etapa, a filtração.

- 4º etapa: Filtração.

Como a água ainda possui impurezas que não foram sedimentadas no processo de decantação, estes flocos menores precisam ser retirados da água. De acordo com Richter (2009) a filtração é, provavelmente, o processo unitário mais importante na cadeia de processos de tratamento de água, podendo ser o único, como na filtração lenta, ou apenas precedido pela coágulo-floculação, como na filtração direta.

Conforme Richter (2009) a filtração é um processo físico-químico, podendo até em alguns casos ser biológico para a separação de impurezas em

suspensão na água mediante a passagem por um meio poroso. Assim muitos materiais podem ser utilizados como meio poroso

Essas partículas ficaram retidas nos filtros constituídos de camadas de areia, ou areia e antracito, suportadas por cascalhos de vários tamanhos, que irão reter o restante da sujeira existente, é o processo final de remoção de impurezas em uma ETA, finalizado a clarificação da água.

- 5º etapa: Desinfecção e Fluoretação.

Quando chega nessa etapa a água já está clarificada, fundamentando-se em Libânio (2010), a desinfecção representa a última etapa do tratamento, com o objetivo da eliminação dos micro-organismos patogênicos, com o uso de um produto químico, sendo o mais utilizado, o cloro.

Dessa forma são eliminados da água os germes nocivos à saúde, garantindo a qualidade da água nos reservatórios e nas redes de distribuição. De acordo com Richter (2009) algumas espécies de micro-organismos são responsáveis por doenças como exemplo a febre tifoide, sabor e odor na água, corrosão de estruturas de concreto ou de metais. Entretanto os micro-organismos são também de considerável importância no controle da qualidade da água, principalmente na autopurificação de um corpo d'água.

2.2. Geração de resíduos da ETA

No tratamento da água, a matéria prima, água *in natura* recebe produtos químicos e mediante operações nas etapas da ETA esta se torna água potável. Como em todo processo de transformação da matéria prima, há geração de resíduos, bem como afirma Silveira (2012) a ETA é como qualquer outra indústria, onde a água bruta é a sua matéria prima e trabalhada em diversos processos e operações resulta em um produto acabado, água potável, gerando assim um resíduo do processo, o lodo.

O destino final do lodo das ETAs pode ser considerado uma das etapas mais difíceis no tratamento da água, pois a disposição final do lodo requer transporte e restrições ambientais. Hoje um dos maiores desafios no tratamento da água é a busca por novas tecnologias viáveis economicamente além de ambientalmente vantajosas (RICHTER, 2009).

Conforme Libânio (2010) as características dos resíduos pertinentes ao processo de potabilização da água dependem do tipo do processo que é utilizado para tal. Onde os resíduos geralmente são constituídos de água, sólidos suspensos originalmente contidos na água bruta e resíduos dos reagentes aplicados durante o processo de tratamento.

Esses resíduos podem ser tóxicos ao homem e ao meio ambiente, pois o lodo ao ser lançado nos corpos d'água tem como resultado a poluição física, o aumento da cor e turbidez, podendo afetar o uso do recurso hídrico, como na recreação e irrigação (LIBÂNIO, 2010).

Os lodos de ETA são classificados pela NBR 10004- (2004) Resíduos sólidos- Classificação, levando ainda em consideração a legislação vigente no Brasil, outras leis estabelecem novas condições para o despejo do resíduo no meio ambiente:

Lei 9.433, de janeiro de 1997- Política Nacional de Recursos Hídricos.

Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998- "Crimes Ambientais".

2.2.1. Classificação dos resíduos sólidos

Conforme descrito na NBR 10004- (2004), os resíduos sólidos e semissólidos são considerados os que resultam de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviço e de variação. Também se inclui os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água.

De acordo com a NBR 10004- (2004) a classificação dos resíduos sólidos envolve desde a sua origem, identificando o processo ou a atividade que gera o mesmo, para posterior análise de seus constituintes e característica de acordo com uma listagem de resíduos e substâncias cujo impacto a saúde e ao meio ambiente é conhecido.

2.2.2. Resolução do CONAMA e crimes ambientais

Conforme descrito na Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 "Crimes Ambientais", na seção III, Art. 54, § 2º, V, se o crime ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias

oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos.

Assim de acordo com o CONAMA seção II, Art. 16 os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições padrões previstos, as quais são:

- pH entre 5 a 9;
- Temperatura no máximo de 40° C;
- Materiais sedimentares, ate 1mL/L;
- Regime de lançamento, vazão de até 1,5 vezes a vazão do corpo receptor;
- Óleos e graxas ausentes;
- Ausência de materiais flutuantes;
- Demanda bioquímica.

Assim se os lodos lançados em rios estiverem em não conformidades com alguns dos dados descritos acima pode ser considerado como crime ambiental.

Na Figura 2 esta ilustrando um manancial com suas características naturais e após receber os resíduos da ETA, nota-se diferenças significativas na estética do manancial receptor (RIBEIRO, 2007 apud SILVEIRA, 2012).

Figura 2:Corpo d'água antes e após receber os resíduos da ETA



Fonte: Ribeiro (2007) apud Silveira (2012).

2.3. Aplicações do lodo.

Como já descrito, um dos principais problemas encontrados hoje pelas ETAs, é a destinação do lodo produzido pela mesma. Segundo Ferranti (2006)

apud Silveira (2012) é economicamente inviável para alguma empresa que use o lodo como matéria prima, pois o transporte torna-se caro devido a grande quantidade de água no agregado, sendo necessário fazer o desaguamento e desidratação a fim de reduzir o seu volume. No Brasil alguns trabalhos foram realizados e algumas empresas já usam o lodo para a fabricação do seu produto, como as empresas *Metropolitan Water*, LA, CA e a Tulsa Ok que utilizam o lodo para a produção de Cimento Portland. A utilização do lodo se deve pelo motivo do lodo ter um alto teor de ferro, sílica e alumínio, onde o calcário que representa cerca de 70 a 80% do material bruto utilizado para a fabricação do cimento tem baixas concentrações de ferro, sílica e alumínio (TSUTIYA e HIRATA, 2001).

Outros trabalhos mais voltados para o ramo artesanal também são desenvolvidos, onde o lodo é utilizado na incorporação da massa cerâmica para a confecção de peças artísticas decorativas e utilitárias, em substituição parcial à argila normalmente usada. Para essa utilização alguns problemas são relevantes para o desenvolvimento de peças com qualidade, como furos e bolhas decorrentes de pedriscos, aglomerados de areia e matéria orgânica existente do lodo (POZZOBON; LUCAS; MORA, 2009) A Figura 3 ilustra esses problemas em um vaso cerâmico e a Figura 4 explana um exemplo de matéria orgânica encontrado no lodo da ETA de Pato Branco.

Figura 3: Furos e bolhas ocasionados pela utilização de lodo na confecção de peças cerâmicas



Fonte:Pozzobon; Lucas; Mora, (2009).

Figura 4: Matéria orgânica encontrada no lodo da ETA de Pato Branco



Fonte: O autor (2013).

O lodo de ETA também vem sendo utilizado na fabricação de tijolo cerâmico, na Carolina do Norte - EUA (Estados Unidos da América), mais de 15% do lodo produzido é utilizado na fabricação de tijolos, sem nenhum impacto negativo na qualidade estrutural do produto. O lodo de ETA pode ser utilizado na fabricação de tijolos por possuir propriedades físicas e químicas similares a argila natural utilizada na fabricação dos tijolos. Algumas características do lodo são de fundamental importância o seu conhecimento, pois o lodo com a presença de cal compromete a qualidade do tijolo produzido, inviabilizando a sua utilização, por outro lado lodos contendo hidróxido de ferro ou bário, atribuem ao tijolo, coloração avermelhada, o que é desejado pelos fabricantes (TSUTIYA e HIRATA, 2001).

3. PASTILHAS CERÂMICAS

Conforme Bauer (2010) a indústria cerâmica é uma das mais antigas do mundo, devido à abundância do material em todo o mundo e a facilidade de fabricação de peças com o material.

Segundo Kloss (1991) as argilas são substâncias minerais provenientes da decomposição de rochas feldspáticas, que possuem propriedade de formarem com a água uma pasta plástica susceptível, de conservar a forma moldada, secar e endurece sob a ação do calor.

De acordo com Bauer (2010) as principais propriedades das argilas são a plasticidade, a retração e o efeito ao calor. Conforme Kloss (1991) a argila seca tem uma plasticidade nula e conforme vai molhando a argila a mesma vai ganhando plasticidade até um máximo, adicionando mais água ao material o mesmo perde a plasticidade se transformando em um líquido viscoso.

Kloss (1991) considera que a retração em um bloco de argila ocorre por capilaridade no sentido do centro do corpo do bloco para a superfície do corpo que se encontra mais seca, com a tendência de homogeneizar o conjunto. Segundo Bauer (2010) os lugares antes ocupados pela água, agora ficam vazios, ocorrendo assim à retração do bloco e assim como ela não é absolutamente uniforme, o bloco pode se deformar.

Conforme Petrucci (1995) são três os métodos de modelagem de produtos cerâmicos: o da argila mole, o da argila rija e o da prensagem a seco. No processo de argila mole, as peças são moldadas manualmente ou mecânica e colocadas em moldes. Baseando-se em Bauer (2010) o processo de moldagem com argila mole é o processo mais antigo, onde hoje em dia já existem processos mais modernos, porém, não resultam em um produto com a mesma qualidade.

Após o processo de moldagem, o material passa para a próxima etapa que é a secagem. Conforme Petrucci (1995) a secagem natural é realizada em locais ventilados e protegido dos raios solares (sombra). Segundo Kloss (1991) em materiais cerâmicos que necessitem a vitrificação das peças, ainda necessitam de mais dois processos que são o de cozimento e o esfriamento das peças.

A classificação das pastilhas cerâmicas está baseada em três normas.

- NBR 13816 (1997) Placas cerâmicas para revestimento- Terminologia;
- NBR 13817- (1997) Placas cerâmicas para revestimento- Classificação;
- NBR 13818- (1997): Placas cerâmicas para revestimento- Especificação e métodos de ensaio.

3.1. Demais componentes da pastilha

3.1.1. Cimento Portland

Segundo Bauer (2010) o Cimento Portland é constituído pela pulverização de *clinker* constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural, podendo também conter eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

Conforme Bauer (2010) os constituintes fundamentais do Cimento Portland são a cal, a sílica, a alumina, o óxido de ferro, certa proporção de magnésio e uma pequena proporção de anidrido sulfúrico. Contém também em menores quantidades óxido de sódio, óxido de potássio, óxido de titânio e outras substâncias de menor importância.

Os cimentos no início eram classificados conforme as especificações das necessidades dos clientes. Somente a partir de 1904, quando as primeiras especificações da ASTM (American Society for Testing and Materials) foram introduzidas nas indústrias, onde as mesmas começaram a produzir alguns tipos específicos de cimento (BAUER, 2010).

De acordo com Bauer (2010) no Brasil são produzidos vários tipos de cimentos, oficialmente normatizados, divididos em 5 tipos:

- Tipo 1: Cimento Portland comum utilizado nos trabalhos gerais de construção;
- Tipo 2: Frequentemente conhecido como 'modificado', é um cimento com desenvolvimento moderado de calor de hidratação;
- Tipo 3: É o cimento de alta resistência inicial, deferindo do 1 pela proporção mais elevada de silicato tricálcio e aluminato tricálcio;

- Tipo 4: É um cimento de calor de hidratação muito baixo, destinado ao emprego em construção volumosa de grande porte;
- Tipo 5: É destinado ao emprego de obras onde a resistência ao ataque às águas sulfatadas é importante.

A fabricação do Cimento Portland segundo Bauer (2010) se dá pelos processos de extração da matéria-prima, britagem, moedura e mistura, queima, moedura do *clinker* e expedição.

3.1.2. Cal

Segundo Freitas (2010, p 35), “a cal é um aglomerante inorgânico, produzido a partir de rochas calcárias, composto basicamente de cálcio e magnésio, que se apresenta na forma de um pó muito fino”.

De acordo com Concotto (2007) apud Freitas (2010) a cal, é o aglomerante mais antigo a ser utilizado em combinação ou não com pozolanas² nas construções expostas as intempéries, onde somente em 1824 com a chegada do Cimento Portland o seu uso começou a diminuir.

Conforme Freitas (2010) existem dois tipos de cal no mercado hoje, a cal virgem composta predominantemente de óxidos de cálcio e magnésio, e a cal hidratada que é constituída de hidróxidos de cálcio e de magnésio, além de uma pequena fração de óxidos não hidratados.

Segundo Bauer (2010) além das rochas calcárias, outros materiais também podem ser utilizados como matéria prima para a fabricação da cal, os depósitos de resíduos de esqueletos de animais, como ocorrem em nossos sambaquis³.

3.1.3. Areia

Segundo Bauer (2010) considerando a areia como material de construção, a mesma se classifica como um agregado miúdo. A areia para

²Pozolana: Terra avermelhada que se mistura com a cal para fazer um cimento hidráulico.

³Sambaquis: Arqueologia: Depósito de materiais orgânicos e calcários que sofreram fossilização química, de origem humana pré-histórica. Geológica: Depósito natural de cascas de ostras e outras conchas.

material de construção precisa ter grãos formados de material consistente e não necessariamente ser quartizosos (BAUER, 2010).

De acordo com Bauer (2010) as areias têm como origem:

- De rio: São depósitos sedimentares que se formam nos leitos de alguns rios. A sua extração se dá com a utilização de equipamentos, onde se bombeiam a água, contendo cerca de 5 a 10% de areia para lagoas de decantação;
- De cava: São depósitos aluvionares em fundos de vales cobertos por capa de solo. A areia é extraída ou por escavação mecânica ou por desmonte hidráulico;
- De britagem: É a areia, obtida através do processo de classificação por peneiramento de agregado produzindo as pedreiras;
- De escória: A escória de alto-forno granulada, é a que é resfriada bruscamente por jato de água, fragmentando-se em grãos em geral inferiores a 12,7 mm;
- De praias e dunas: As areias de praias e dunas brasileiras, não são usadas para fabricação de concreto, devido ao seu teor de cloreto e a sua grande finura.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

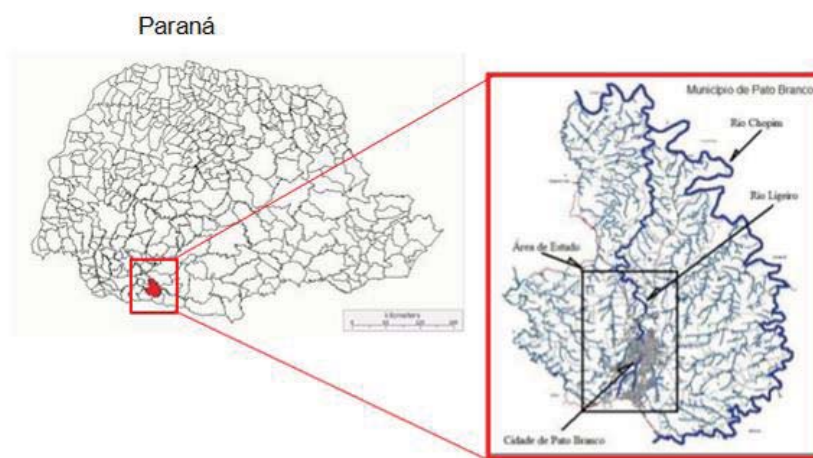
4.1. Tipo de pesquisa

O presente trabalho parte do método exploratório. A pesquisa exploratória tem por objetivo habituar-se a um assunto que ainda não se tenha um vasto conhecimento (GIL, 2002). Segundo a conveniência de Gil (2002) por ser um tipo de pesquisa bastante específica, de modo geral assume a forma de um estudo de caso. O estudo de caso para Yin (2001) é uma modalidade de pesquisa que investiga elementos contemporâneos em seu ambiente real, quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidos, e também quando o objetivo de estudo envolve poucos elementos.

Neste caso, o específico estudo busca com que o lodo da ETA de Pato Branco seja utilizado para a fabricação de pastilha cerâmica, onde um material sem utilidade se torne um produto de qualidade, acessibilidade econômica e ecologicamente correta.

4.2. Cenário de pesquisa

A pesquisa foi realizada com o lodo da ETA de Pato Branco, cidade esta localizada na região sudoeste do Paraná (Figura 5 mostra a localização de Pato Branco no estado do Paraná), com população 72.370 habitantes e com área de 539.087 Km² de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2010.

Figura 5: Mapa do Paraná com ênfase em Pato Branco

Fonte: modificado do Instituto de Pesquisa e Planejamento de Pato Branco (IPPUB, 2013).

No sistema de tratamento de água de Pato Branco, a água *in natura* é captada no Rio Pato Branco, com uma adutora de 14 quilômetros de comprimento, que recalca a água do rio até a ETA, localizada no centro da cidade. A descrição da ETA de Pato Branco foi realizada conforme a apresentada pela Eng^a. Kellen Braun e Eng. Romulo Ruiz Gasparini, através de visita ao local.

A ETA de Pato Branco tem capacidade de produção de água potável de aproximadamente 700 m³/h. O tratamento realizado é o convencional, formado pela sequência dos processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção, como descrita no item 2.1.

A adutora tem diâmetro de 350 mm chega à ETA, onde o conduto forçado é inserido em um canal, para mudar para conduto livre. É realizada a dosagem do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) em um vertedor, para ocorrer à mistura rápida e homogeneizar a mistura, onde se dá o início ao processo de coagulação. Na Figura 6, esta ilustrada a aplicação do PAC na ETA de Pato Branco no momento em que a água escoar por um vertedor retangular.

Figura 6: Aplicação do PAC na ETA de Pato Branco



Fonte: O Autor (2012).

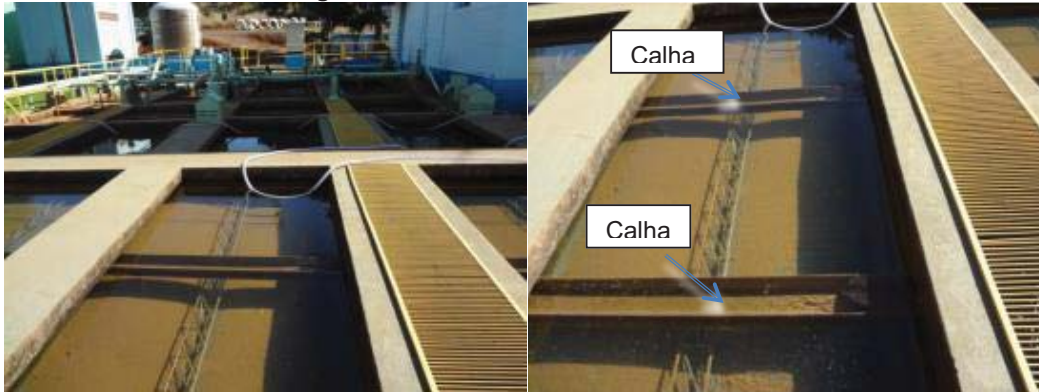
Após o processo de coagulação, tem-se início ao processo de floculação. A água passa pelo tanque de floculação, onde o mesmo, em Pato Branco é mecânico denominado de *walkingbean*. A Figura 7 ilustra o modelo do floculador e o tanque de floculação da ETA de Pato Branco.

Figura 7: Tanque de floculação da ETA de Pato Branco



Fonte: O Autor (2012).

Posteriormente ao processo de floculação, tem-se início a sedimentação dos flocos formados, com conseqüente clarificação da água nos decantadores. Na ETA de Pato Branco são no total de 2 decantadores, onde são do modelo tubular. Na Figura 8 ilustra os decantadores da ETA de Pato Branco.

Figura 8: Decantadores de Pato Branco

Fonte: O Autor (2012).

Em seguida, a água decantada é encaminhada aos filtros, pelas calhas coletoras, tendo início a filtração. A ETA possui 8 filtros compostos pelas camadas de antrácito, areia, seixo rolado e fundo falso. A Figura 9 ilustra os filtros da ETA de Pato Branco.

Figura 9: Filtros da ETA de Pato Branco

Fonte: O Autor (2012).

Após a filtração, a água passa pelo processo de desinfecção, onde na ETA de Pato Branco é utilizado cloro para realizar o processo de desinfecção da água. Na Figura 10 verifica-se o momento da aplicação do cloro no processo de desinfecção da água. Para finalizar o tratamento é adicionado o flúor, para a redução de cáries infantis.

Figura 10: Desinfecção da água na ETA de Pato Branco



Fonte: O autor (2012).

O lodo da ETA que são gerados pela lavagem dos filtros e dos decantadores, são encaminhados para o reservatório na própria ETA de Pato Branco, onde o mesmo fica por um período de 6 meses e após esse período o mesmo é despejado no Rio Ligeiro sem nenhum tratamento. Na Figura 11 ilustra o reservatório da ETA de Pato Branco.

Figura 11:reservatório de acumulação de águas de lavagens de filtros e dos decantadores



Fonte: O Autor (2012).

4.3. Procedimentos utilizados

Para esta pesquisa foi realizada a classificação do lodo conforme estabelecido na NBR 10004 -(2004) Classificação dos resíduos sólidos e pela Lei 9.605 de fevereiro de 1998 “Crimes Ambientais”.

A fabricação da pastilha seguiu a seguinte ordem por apresentas na sequência da pesquisa:

4.3.1. Coleta da matéria prima

Para a realização da pesquisa, a coleta da matéria prima foi realizada de acordo com a NBR 9898- (1987) Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Após a realização da coleta a mesma foi desidrata em *in natura* e por filtro.

4.3.2. Secagem do lodo em filtro

Para a elaboração do filtro para secagem do lodo, foi realizado um estudo e baseando-se em Silveira (2012), segundo resultados da pesquisa, com diferentes filtros, o filtro contendo somente pedra brita teve um maior índice de desidratação do lodo, o que é desejável para a realização da pesquisa.

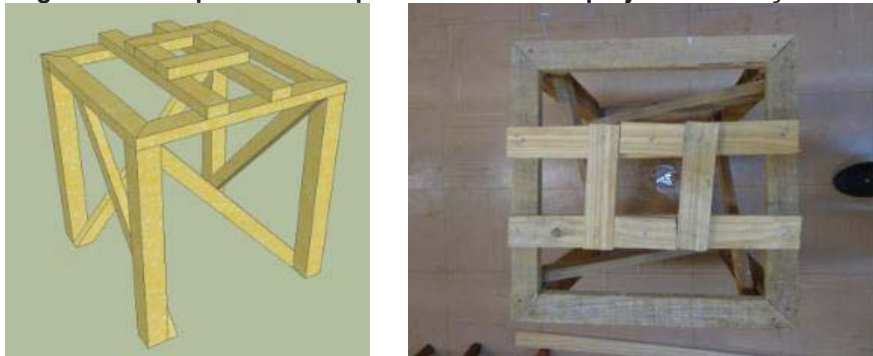
Para a fabricação do filtro foi necessário:

- 1 suporte de madeira de pinus com 2 m de caibro de 5x5 cm e 5,5 m de ripa de 5x2,5 cm;
- 1 tambor de água mineral de 20 L;
- 1 pedaço de tela mosquiteira de plástico 20x20 cm;
- 5,5 kg de brita 1;
- 3,5 kg de brita 2;
- 1 garrafa de água mineral 500 ml;
- 30 cm de mangueira translúcida de ¼”;
- 1 garrafa descartável 2,5 L;
- 1 pacote de prego 16x24”;
- 1 fita adesiva transparente;
- 1 pedaço de geomanta simples de 75x80 cm e;
- 1 estilete.

Para a confecção do suporte foram utilizados 4 pontaletes nos cantos de madeira 5x5 cm com comprimento de 50 cm, nas laterais na parte superior dos

pontaletes foram pregados com pregos 16x24” uma ripa interligando os pontaletes com 55 cm. Nas diagonais entre os pontaletes também foram pregadas ripas com prego 16x24” do canto inferior de um pontalete ate o canto superior do outro pontalete, nas ripas na parte superior foram pregadas duas outras ripas espaçadas a 20 cm sendo que as mesmas ficassem sobre o meio da superfície do plano. A Figura 12 apresenta uma perspectiva digital do suporte de madeira e o suporte real de madeira confeccionado. Com o auxilio de um estilete ou serra arco foi retirado o fundo do tambor de água mineral de 20 l. A Figura 13 ilustra o tambor já com o fundo cortado em perspectiva digital e real.

Figura 12: Perspectiva do suporte de madeira – projeto e execução



Fonte: O Autor (2013).

Figura 13: Tambor de água mineral sem o fundo – projeto e execução



Fonte: O Autor (2013).

Foi colada a tela de plástico na boca do galão de 20 l com a fita adesiva transparente, tomando o cuidado de passar fita em torno da boca do tambor para não atrapalhar a posterior passagem da água. Após esse processo, foi realizada a abertura de um orifício na tampa da garrafa pet (polietileno tereftalado) para passagem da mangueira, com a fita adesiva transparente constituiu-se a fixação da tampa com a mangueira. Continuando esse processo, realizou-se o corte do fundo da garrafa pet com o auxílio do estilete, com a fita adesiva transparente foi colocada a garrafa pet ao tambor de 20 l de água. A Figura 14 apresenta a fixação da tela de plástico com o tambor e a fixação da mangueira translúcida e a garrafa pet no tambor em perspectiva digital e real.

Figura 14: Fixação da mangueira, da garrafa e tela de plástico no tambor – projeto e execução



Fonte: O Autor (2013).

Após a fixação da mangueira e da garrafa pet pequena no tambor, o conjunto foi posicionado no suporte, sobre as ripas no centro do suporte na parte superior e abaixo da mangueira foi colocado uma garrafa pet de 2,5 l. A Figura 15 ilustra o posicionamento do tambor de 20 l sobre o suporte e posicionamento da garrafa pet de 2,5 l na perspectiva digital e real.

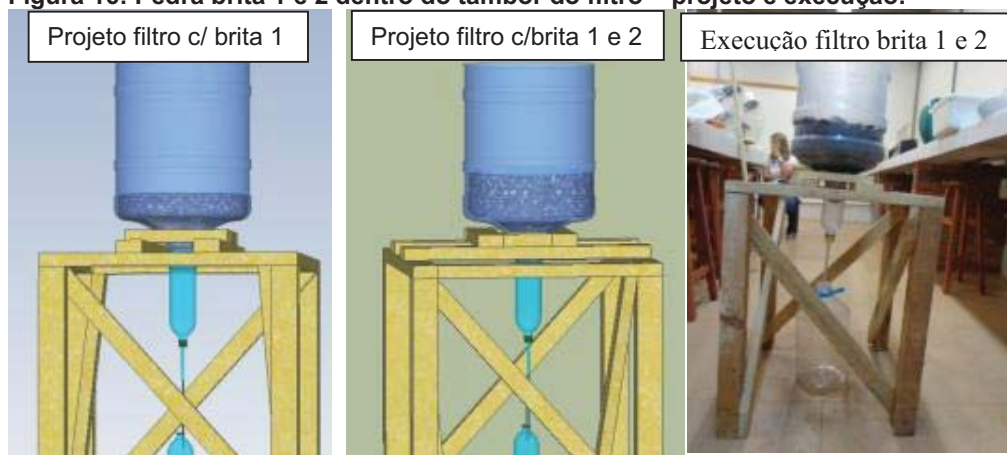
Figura 15: Posicionamento do tambor sobre o suporte e da garrafa pet 2,5 l – projeto e execução



Fonte: O Autor (2013).

Posteriormente ao posicionamento do tambor no suporte, foi adicionado britas 1 e 2, na quantidade de 5,5 kg de brita 1 em uma altura de 6 cm no tambor de 20 l, 3,5 kg de brita 2 em uma altura de 4cm no tambor de 20 l. Na Figura 16 é possível verificar as pedras britas 1 e 2 dentro do tambor de 20 l na perspectiva digital e o filtro em execução.

Figura 16: Pedra brita 1 e 2 dentro do tambor do filtro – projeto e execução.



Fonte: O Autor (2013).

Posteriormente à colocação das pedras britas no tambor, foi realizada a última etapa de confecção do filtro, o posicionamento da geomanta simples. Manualmente a geomanta simples foi posicionada no tambor de modo a não apresentar dobras e também não ficar muito esticada para que essa não sofra o processo de ruptura, ao receber o lodo. Outro cuidado foi de que as bordas

do filtro estivessem 100 % cobertas com a geomanta, a fim de não vazar o lodo. Na Figura 17 pode-se verificar o filtro, primeiramente em projeto e posteriormente pronto para a realização da pesquisa.

Figura 17: Perspectiva digital e real do filtro de secagem do lodo



Fonte: O Autor. (2013).

4.3.3. Secagem do lodo *In natura*

A secagem do lodo *in natura* foi realizada através do despejo do lodo sobre uma superfície inclinada, forrada de lona, onde o mesmo foi depositado até que visualmente o mesmo estivesse em condições de ser trabalhado.

4.3.4. Limite de liquidez

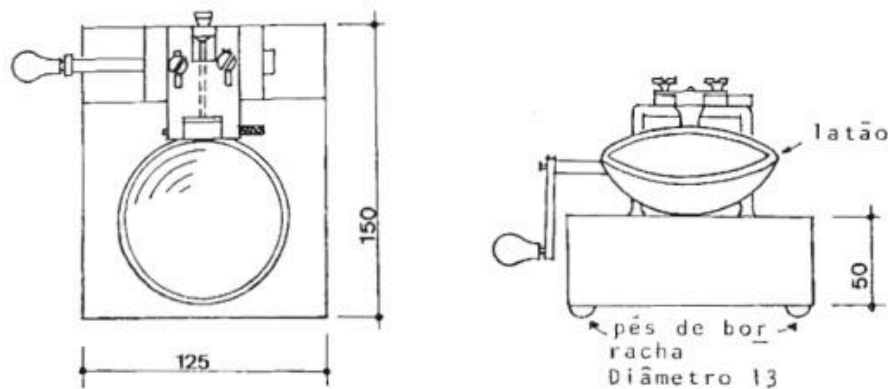
Segundo Caputo (1988), os solos com umidade muito elevada se tornam um fluido denso e se diz no estado líquido. Desta forma, conforme a água evapora o solo endurece, tendendo para o seu limite de liquidez, perdendo a sua capacidade de fluir, porém podendo ser moldado facilmente e conservar sua forma.

Para determinar o limite de liquidez do lodo, utilizou-se conforme especificado em norma NBR 6459-(1984) Solo- Determinação do limite de liquidez e NBR 6457-(1986) Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, da ABNT. Primeiramente, o lodo foi deixado secar até a sua umidade higroscópica, após esse processo foram

desmanchados os torrões, evitando-se quebra de grãos, posteriormente a amostra foi passada na peneira 0,42 mm, de modo a se obter aproximadamente 200 g do material, assim o material obtido constituía a amostra a ser ensaiada.

Após a determinação da amostra, a mesma foi transferida para uma cápsula de porcelana, onde se adicionaram pequenas quantidades de água destilada. A amostra foi misturada continuamente por 30 minutos com auxílio de uma espátula, de forma a obter uma pasta homogênea. Após esse processo a amostra do lodo foi transferida para a concha do Aparelho Casagrande, ilustrado na Figura 18.

Figura 18: Aparelho de Casagrande



Fonte: NBR 6459- 1984.

Em seguida, com auxílio de um cinzel, dividiu-se a amostra que estava na concha, fazendo-se uma ranhura na parte central. A seguir, golpeou-se a concha contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo, anotando-se o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de 13 mm de comprimento aproximadamente.

Para a finalização do experimento, determinou-se ainda a umidade da amostra, transferindo-se uma pequena quantidade da amostra para uma cápsula de alumínio para a determinação da umidade pelo método da estufa (sendo o tempo de 24 horas).

4.3.5. Densidade do lodo

O ensaio constitui-se em colocar um volume de amostra do lodo em cápsulas, onde as mesmas foram previamente medidas, para a obtenção do seu volume. Em seguida foram preenchidas as cápsulas e novamente pesadas⁴.

Para a obtenção da densidade do solo, utilizou-se a equação(1).

$$D = \frac{Massa}{Volume} \quad (1)$$

4.3.6. Limite de plasticidade do solo

Segundo Caputo (1988) a plasticidade do solo consiste na maior ou menor capacidade de serem eles moldados, sobre certas condições de umidade, sem variação de volume, ou seja, o solo não recupera seu estado original ao cessar a ação deformante. O solo se deforma com a aplicação da tensão, mais não ocorre à ruptura do mesmo, mantendo a deformação quando a força se anula (PAIXÃO, 2005).

Para a determinação do limite de plasticidade do lodo, utilizou-se conforme especificado em norma NBR 7180-(1984) Solo- Determinação do limite de plasticidade do lodo e NBR 6457- (1986) Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, da ABNT. A preparação da amostra para o ensaio de Limite de Plasticidade foi o mesmo utilizado para o ensaio de Limite de Liquidez. Posteriormente a preparação da amostra, a mesma foi retirada 10 g de amostra e formado uma pequena bola, onde a amostra foi rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar forma de cilindro.

Ao se fragmentar o cilindro, com diâmetro de 3 mm e comprimento na ordem de 100 mm, transferir imediatamente as partes do mesmo para um recipiente adequado para a determinação da umidade conforme a NBR 6457-(1986).

⁴ Informações pessoais obtidas junto ao professor Sergio Rambo (2012).

4.3.7. Determinação da umidade

Para a determinação do teor de umidade do lodo, utilizou-se conforme especificado em norma NBR 6457- (1986) Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Primeiramente foi pesada uma cápsula adequada com amostras de lodo e posteriormente foi pesado o conjunto da cápsula com o lodo junto com a tampa e anotado como M1.

Após esse processo, realizou-se a retirada da tampa da cápsula e levada a cápsula para a estufa a temperatura de 105° C, onde a mesma permaneceu por um período de 24 horas. Após esse intervalo retirou-se a cápsula e foi pesada novamente com a tampa e anotado como M2.

Para determinar a umidade do solo, foi utilizada a equação (2)

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} * 100 \quad (2)$$

Onde:

h= Teor de umidade, em %;

M_1 = Massa do solo úmida mais massa do recipiente, em g;

M_2 = Massa do solo seco mais a massa do recipiente; em g;

M_3 = Massa do recipiente, em g.

4.3.8. Ensaio de compactação

Segundo Kolher (2009) apud Silva (2010) é importante à determinação da umidade ótima, pois em umidades baixas não ocorre uma significativa redução de vazios, visto que ocorre muito atrito entre as partículas, já com umidades altas ocorre à perda da resistência podendo ocorrer fissuras.

De acordo com Forbes (2002) apud Silva (2010) para solos arenosos a umidade ótima fica na ordem de 7% a 12% e massa específica varia entorno de 2000 Kg/m³, solos siltosos a umidade ótima varia de 18% a 25% com massa específica na media de 1600 kg/m³ e em solos argilosos apresentam a maior

umidade ótima na ordem de 30% a 40% e menor massa específica na faixa de 1300 Kg/m³.

Para a realização do ensaio de compactação, utilizou-se conforme especificado na NBR 7182- (1986) Solo- Ensaio de compactação e na NBR 6457- (1986). Primeiramente a amostra foi secada em estufa, por um período de 24 horas, após esse processo a amostra foi moída no moinho de bolas⁵, em seguida foi peneirado na peneira 4,8 mm, o material retido constituiu a amostra.

Posteriormente a determinação da amostra, a mesma foi colocada em um recipiente metálico e adicionada água destilada, misturando a amostra na ordem de 30 minutos para a homogeneização.

Já com o cilindro fixado a base, acoplou-se o cilindro complementar e apoiou-se o conjunto sobre uma base rígida. Na Figura 19 ilustra o cilindro e o soquete utilizado para a realização do ensaio. Após foram moldado os corpos de prova obedecendo aos valores prescritos na NBR 7182- (1986), para valores de energia de compactação, conforme Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Energias de compactação

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia*		
		Normal	Intermediária	Modificada
	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
Pequeno	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
	Soquete	Grande	Grande	Grande
Grande	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

* Energia determinada pelo de número de golpes

Fonte: NBR 7182 (1986)- Solo- Ensaio de compactação.

⁵ Foi necessário utilizar o moinho de bolas devido ao excesso de secagem do lodo em estufa, que conferiu à amostra um grau de dureza que impossibilitava a moagem manual.

Figura 19: Cilindro e soquete de compactação

Fonte: O Autor (2013).

Após a compactação da última camada, foi retirado o cilindro complementar e deixado um excesso de no máximo 10 mm acima do molde. Após foi removido o molde cilíndrico da sua base.

Posteriormente o conjunto solo e cilindro foram pesados e com o auxílio do extrator foi retirado o corpo de prova. Posteriormente a amostra foi destorroada novamente obedecendo a NBR 6457- (1986).

Após esse procedimento a amostra foi novamente destorroada e preparada para a realização de novo ensaio. Para tanto, adicionou-se água na amostra, aumentando a umidade em 2%. Esse procedimento se repetiu até que o conjunto solo e cilindro continuassem aumentando o seu peso, chegando a sua compactação ideal.

4.3.9. Sólidos Sedimentáveis

Para o ensaio de sólidos sedimentares, utilizou-se conforme especificado na NBR- 10561-(1988) Águas- Determinação de resíduos sedimentável (sólidos sedimentáveis)- Método do cone de Imhoff e NBR 9898-(1987) Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Primeiramente foi coletada a amostra, onde foi realizado um planejamento em função do objetivo proposto pelo estudo e se definiu que uma

amostra do material já representava o efluente em estudo, no caso o lodo da ETA de Pato Branco.

Para a coleta da amostra, tomou-se o cuidado dos aparelhos de coletas serem de plásticos, como especificado na NBR 9898- (1987), Tabela-Parâmetros físicos- químicos (Anexo 1). Após a coleta da amostra, a mesma foi transportada para o laboratório dentro do tempo necessário para que sua análise ocorresse dentro do prazo de validade de preservação, no caso do material estudado, este prazo era de meia hora.

Já com a amostra do material em laboratório, a mesma foi transferida para o cone de Imhoffaté a marca de 1000 ml e deixado o material decantar por 45 minutos, após esse período, com um bastão, foram deslocadas delicadamente as partículas aderidas a parede do cone através de movimentos circulares.

Após esse processo foi deixado o material decantar novamente por 15 min, e em seguida realizou-se a análise do mesmo.

4.3.10. Modelos de traços e molde adotado

Alguns traços foram adotados para a confecção de pastilhas cerâmicas para amostras de testes, esses traços foram adotados após levantamentos bibliográficos sobre o tema (TSUTIYA e HIRATA (2001) e SILVEIRA (2012)).

Assim os traços adotados foram:

- 1) 9,09% cal⁶, 30,30% lodo e 60,61% de argila;
- 2) 9,09% cal, 15,15% lodo e 75,76% de argila;
- 3) 8,33% cal, 8,33% lodo e 83,33% de argila;
- 4) 13,04% cal, 36,23% lodo e 50,72% de argila;
- 5) 16,67% cal e 83,33% de argila;
- 6) 16,67% cal e 83,33% de lodo.

Admitido os traços, constituiu-se um estudo de um molde para a confecção das amostras testes, alguns itens para a escolha do molde foram adotados, como:

⁶ Cal utilizada para a realização da pesquisa foi à cal hidratada

- Tamanho final da pastilha cerâmica;
- Posterior desforma do material;
- Dificuldade de obtenção e confecção do molde;
- Custo do molde;
- Espessura da pastilha cerâmica final.

Com o estudo realizado, definiu-se a utilização de um molde, Molde I, constituído de cano PVC 75 mm de esgoto, com uma espessura de 2,5 cm e para este se realizou a compactação manual.

Figura 20: Molde I



Fonte: O Autor (2013).

Para a confecção das pastilhas testes, a mistura da massa foi realizada manualmente e a compactação das amostras também foi feita manualmente, a Figura 21 ilustra as pastilhas testes confeccionadas com o molde I.

Figura 21: Amostras testes com 2 cm de espessura e molde I



Fonte: O Autor (2013).

4.3.11. Molde II e espessura das pastilhas

Para o molde II, ficaram estipulados dois traços, o qual apresentaram melhores resultados, descrito no item 5.2. Os traços escolhidos foram

- 1) 2% Cimento⁷, 5% Areia⁸, 8% Cal⁹, 15% Lodo e 70% Argila.
- 2) 2% Cimento, 5% Areia, 8% Cal, 10% Lodo e 75% Argila.

Para a confecção das pastilhas, primeiramente foi preparada a massa, com a mistura dos materiais, manualmente obedecendo aos dois traços estudados (citados acima e no item 5.2), após a mistura do material o molde foi forrado com plástico, de modo a evitar que o material entra-se em contato com a peça cerâmica e com o compensado de madeira, após esse processo o material foi depositado no molde e posteriormente posto outro plástico por cima do material para evitar que a massa não se gruda-se no rolo utilizado para a compactação, após o material foi espalhado e compactado com o rolo de madeira, na espessura de 1,3 cm e de 0,8 cm, em seguida a compactação foi realizado o corte das pastilhas cerâmicas com o auxílio de um estilete e um esquadro. Na Figura 22 ilustra os procedimentos para a confecção da pastilha cerâmica.

⁷ Cimento utilizado para a pesquisa foi o CP II- Z- 32

⁸ Areia utilizada para a pesquisa foi areia fina

⁹ Cal utilizada para a pesquisa foi a cal hidratada

Figura 22: Procedimento de fabricação da pastilha cerâmica



Fonte: O Autor (2013).

4.3.12. Confeção das tintas

4.3.12.1. Tinta translúcida

Para a fabricação das tintas translúcidas, foram realizados vários testes com materiais orgânicos (terra, erva-mate) e químicos (pigmentos). Onde primeiramente os materiais eram dissolvidos em água, com uma mistura rápida de 5 minutos para a homogeneização do material, após esse processo adicionava-se ao material cola PVA (Acetato de Polivilina) e novamente o material era misturado por 5 minutos para a homogeneização.

4.3.12.2. Tintas opacas

Para a confecção das tintas opacas, foram adotados os mesmos procedimentos para a confecção das tintas translúcidas. Após a mistura com a cola PVA, era adicionado cal hidratada na amostra e realizada novamente uma mistura rápida de 5 minutos para haver a homogeneização da mesma.

4.3.13. Classificação das pastilhas cerâmicas

Para a classificação das pastilhas cerâmicas baseou-se na NBR 13817-(1997) Placas cerâmicas para revestimento- Classificação. As placas cerâmicas podem ser classificadas segundo alguns critérios:

- Esmaltadas e não esmaltadas;
- Métodos de fabricação;
- Grupos de absorção de água;
- Classes de resistência a abrasão superficial, em números de 5;
- Classes de resistência ao ataque de agentes químicos, segundo diferentes níveis de concentração;
- Aspecto superficial ou análise visual.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análises das características do lodo.

O lodo estudado conforme a NBR 10004- (2004) classifica o de ETA como um resíduo inerte de classe II.

5.1.1. Limite de liquidez do lodo e dos traços estudados.

Os resultados obtidos no Aparelho de Casagrande estão representados na Tabela 2 abaixo e na Figura 23 elucida o momento em que a amostra de lodo está na concha do aparelho Casagrande antes do ensaio, com a ranhura totalmente aberta e após o ensaio com as bordas inferiores unidas na ordem de 13 mm.

Tabela 2: Limite de liquidez do lodo

Número de golpes	Umidade%
33	43
37	39
42	36

Fonte: O Autor (2013).

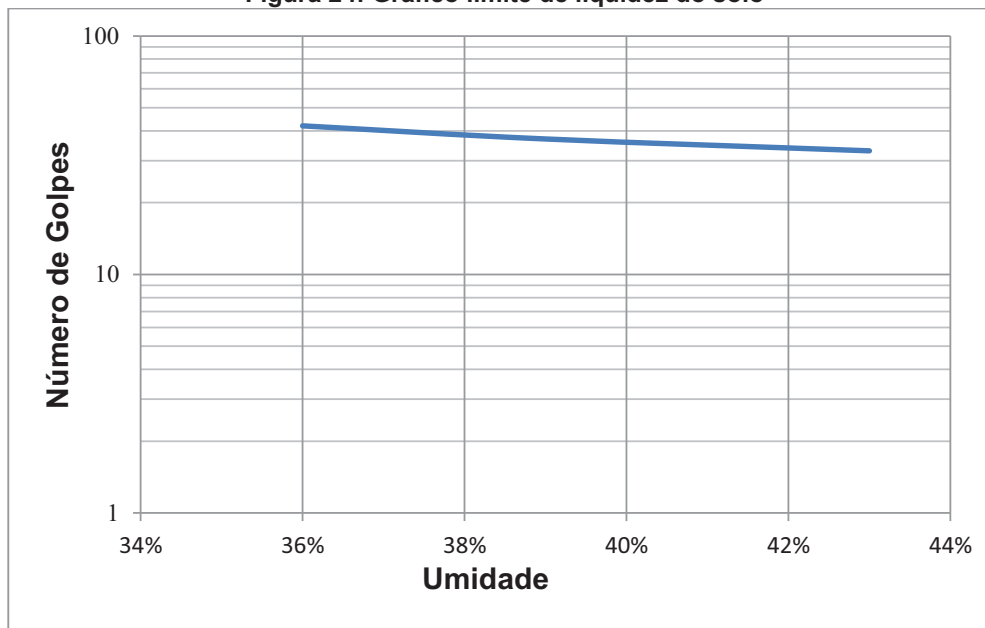
Figura 23: Ensaio de limite de liquidez do lodo



Fonte: O Autor (2013).

Com os dados obtidos e de acordo com a NBR 6459- (1984), foi elaborado um gráfico e obtido uma reta, na qual com o número de golpes correspondente a 25, encontrou-se o limite de liquidez do lodo. O gráfico este, ilustrado abaixo na Figura 24.

Figura 24: Gráfico limite de liquidez do solo



Fonte: O Autor (2013).

Traçando a linha de tendência para a curva, obtém-se a equação (3):

$$y = -127x + 87,29 \quad (3)$$

Assim, pela equação é possível obter a umidade para o número de golpes igual a 25.

$$x = \frac{(25 - 87,29)}{-127}$$

Assim o limite de liquidez para o lodo analisado é de 49%.

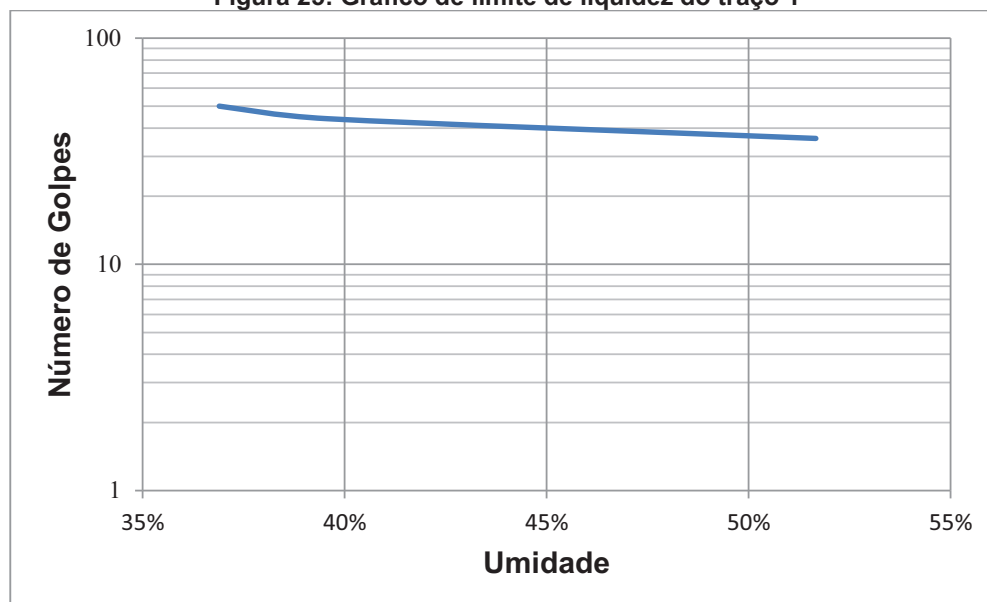
O ensaio foi realizado nos dois traços adotados para a continuação da pesquisa. Os dados obtidos no ensaio estão na Tabela 3.

Tabela 3: Limite de liquidez dos traços

TRAÇO 1		TRAÇO 2	
Número de golpes	Umidade	Número de golpes	Umidade
50	37%	48	36%
44	40%	42	41%
36	52%	35	53%

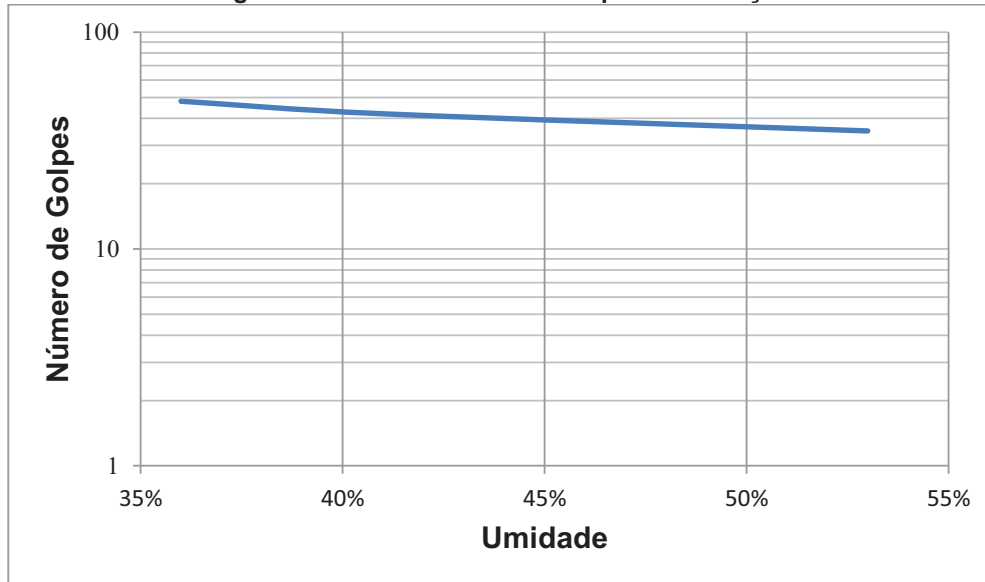
Fonte: O Autor (2013).

Com os dados obtidos em ensaio, foram elaborados os gráficos e obtidas as retas, nas quais com o número de golpes correspondente a 25, encontrou-se o limite de liquidez dos traços. Os gráficos estes, estão demonstrados abaixo nas Figuras 25 e Figuras 26.

Figura 25: Gráfico de limite de liquidez do traço 1

Fonte: O Autor (2013).

Figura 26: Gráfico do limite de liquidez do traço 2



Fonte: O Autor (2013).

Traçando a linha de tendência para as curvas, obteve as equações (4) e (5):

$$\begin{aligned} \text{Traço 1} & & (4) \\ \Rightarrow y &= -86,04x + 80,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Traço 2} & & (5) \\ \Rightarrow y &= -73,14x + 73,36 \end{aligned}$$

Assim, pela equação é possível obter a umidade para o número de golpes igual a 25.

$$\text{Traço 1} \Rightarrow x = \frac{(25 - 80,08)}{-86,04}$$

$$\text{Traço 2} \Rightarrow x = \frac{(25 - 73,36)}{-73,14}$$

Portanto o limite de liquidez para os traços analisados são de 64% para o traço 1 e de 66% para o traço 2.

5.1.2. Limite de plasticidade do solo e dos traços.

Para a execução do ensaio do limite de plasticidade, foi colocada a amostra do lodo já preparada sobre a placa de vidro e adicionada pequenas quantidade de água destilada para a elaboração do cilindro de 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, após varias tentativas não foi possível conseguir com que a amostra atingisse o tamanho do cilindro, sempre se fragmentando. Assim, de acordo com a NBR 7180- (1984), quando na impossibilidade de se obter o cilindro, a amostra é considerada como não apresentando limite de plasticidade, o caso se aplica a amostra de lodo, portanto o lodo estudado não apresenta limite de plasticidade.

Os limites de plasticidade dos traços adotados 1 e 2 (apresentados na metodologia, pelo Molde II) (que melhores adaptaram-se a qualidade da pastilha, como aspecto de cor e durabilidade, que será apresentado no item 5.2), para a continuidade da pesquisa estão ilustrados nas Tabela 4 e 5 abaixo.

Tabela 4: Limite de plasticidade traço 1

M_1	M_2	M_3	Umidade %
17,78	17,1	15,4	40%
18,42	17,5	15,1	38%
21,2	19,5	15,5	43%

Fonte: O Autor (2013).

Tabela 5: Limite de plasticidade traço 2

M_1	M_2	M_3	Umidade %
18,2	17,4	15,5	42%
17,23	16,71	15,32	37%
19,21	18,09	15,27	40%

Fonte: O Autor (2013).

O limite de plasticidade é expresso pela média dos teores de umidade obtidos. Assim sendo, o limite de plasticidade obtido foi de 40% para ambos os traços.

5.1.3. Sólidos sedimentares

Após a realização do ensaio, obteve a quantidade de 999 mL/L, como descrito na NBR 10561- (1988), na Tabela 6 descrita abaixo onde de 100 a 1000 mL, arredondar o valor para o múltiplo de 50 mais próximo, assim o resultado final ficou de 1000 mL/L. na Figura 27 apresenta o lodo no cone de Imhoff.

Tabela 6: Expressão do resultado

Para valores de (mL)	Arredondar para o valor
0 a 2	Do múltiplo de 0,1 mais próximo
2 a 10	Do múltiplo de 0,5 mais próximo
10 a 20	Da unidade mais próxima
20 a 100	Do múltiplo de 2 mais próximo
100 a 1000	Do múltiplo de 50 mais próximo

Fonte: NBR 10561- (1988).

Figura 27: Ensaio cone de Imhoff



Fonte: O Autor (2013).

5.1.4. Ensaio de compactação

Para a realização do ensaio de compactação foi utilizado o cilindro pequeno, tendo como energia de compactação de 3 camadas, com 26 golpes por camada conforme Tabela 1. A Figura 28 ilustra a retirada do corpo de prova do cilindro na realização do ensaio.

Figura 28: Retirada do corpo de prova do cilindro



Fonte: O Autor (2013).

Os resultados obtidos na realização do ensaio de compactação para os 2 traços estudados estão representados nas Tabelas 7 e 8 abaixo.

Tabela 7: Resultado de compactação Traço 1

Massa cilindro + Solo compactado (g)	Umidade (%)	Peso Especifico (g/cm ³)
4565,9	20%	2,19
4589,5	22%	2,22
4592,1	24%	2,22
4600,8	26%	2,23
4662,1	28%	2,29
4620,3	30%	2,25

Fonte: O Autor (2013).

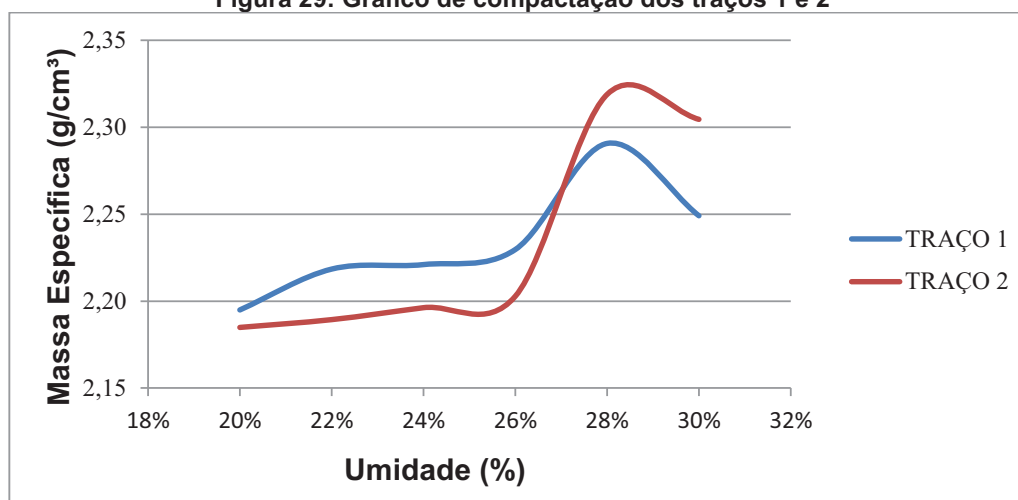
Tabela 8: Resultado de compactação Traço 2

Massa cilindro + Solo compactado (g)	Umidade (%)	Peso Especifico seco (g/cm ³)
4555,8	20%	2,18
4560,3	22%	2,19
4567,2	24%	2,20
4573,8	26%	2,20
4690,4	28%	2,32
4676	30%	2,30

Fonte: O Autor (2013).

Com os resultados obtidos, pode-se observar que ambos os traços atingiram a umidade ótima de compactação com 28%. A Figura 29 abaixo representa os dados obtidos no ensaio com os dois traços estudados.

Figura 29: Gráfico de compactação dos traços 1 e 2



Fonte: O Autor (2013).

5.2. Resultados para as pastilhas com 2 cm de espessura

Com os traços citados, foram feitas as primeiras pastilhas testes, para cada traço foram confeccionadas 2 amostras testes para o lodo secado em filtro e para o lodo secado *in natura*, a Tabela 9 abaixo ilustra as amostras confeccionadas e os traços adotados para a confecção das mesmas.

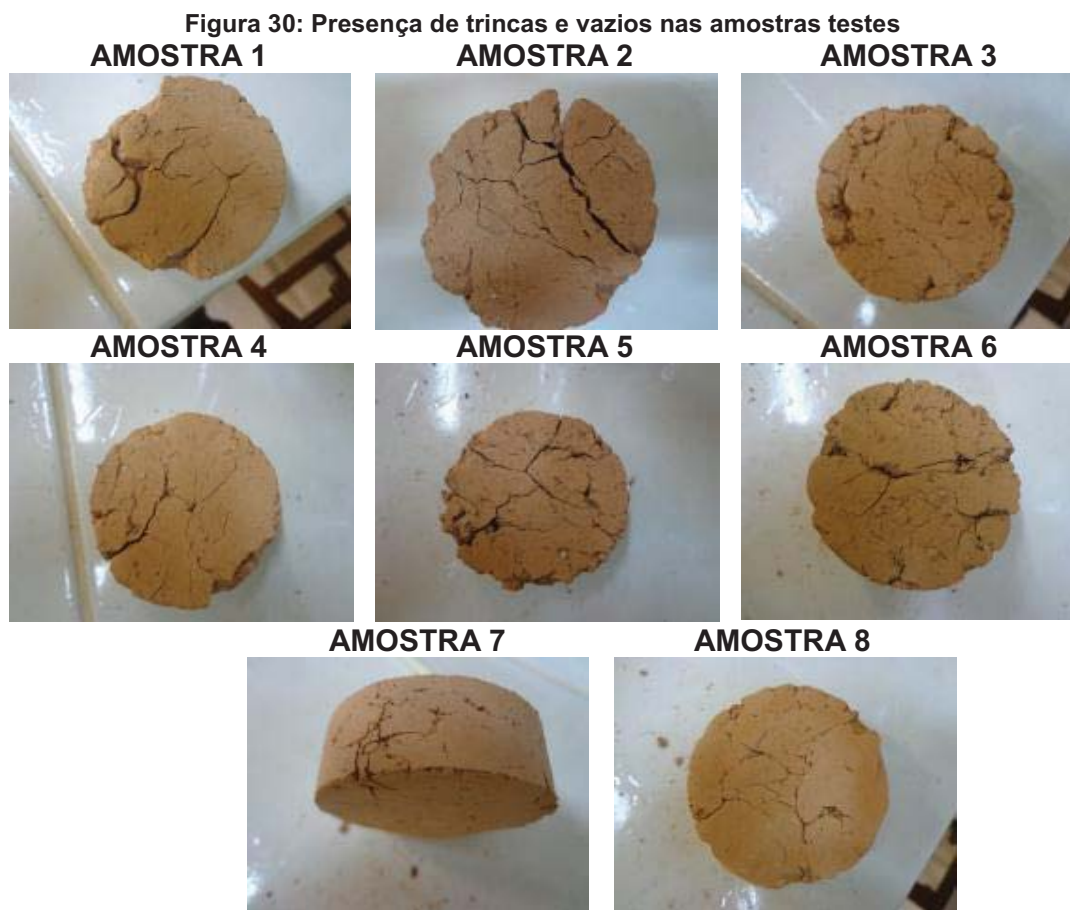
Tabela 9: Amostras testes

Amostra	Traço	Desidratação
1	2	Filtro
2	2	<i>In natura</i>
3	1	<i>In natura</i>
4	1	Filtro
5	4	<i>In natura</i>
6	4	Filtro
7	3	<i>In natura</i>
8	3	Filtro

Fonte: O Autor (2013).

Observaram-se alguns problemas presentes nas amostras testes iniciais, tais como espaços vazios que não eram observados durante o preenchimento e a presença de trincas na amostra, este problema pode ter ocorrido, devido a espessura de 2 cm, e o molde que dificultava a visualização

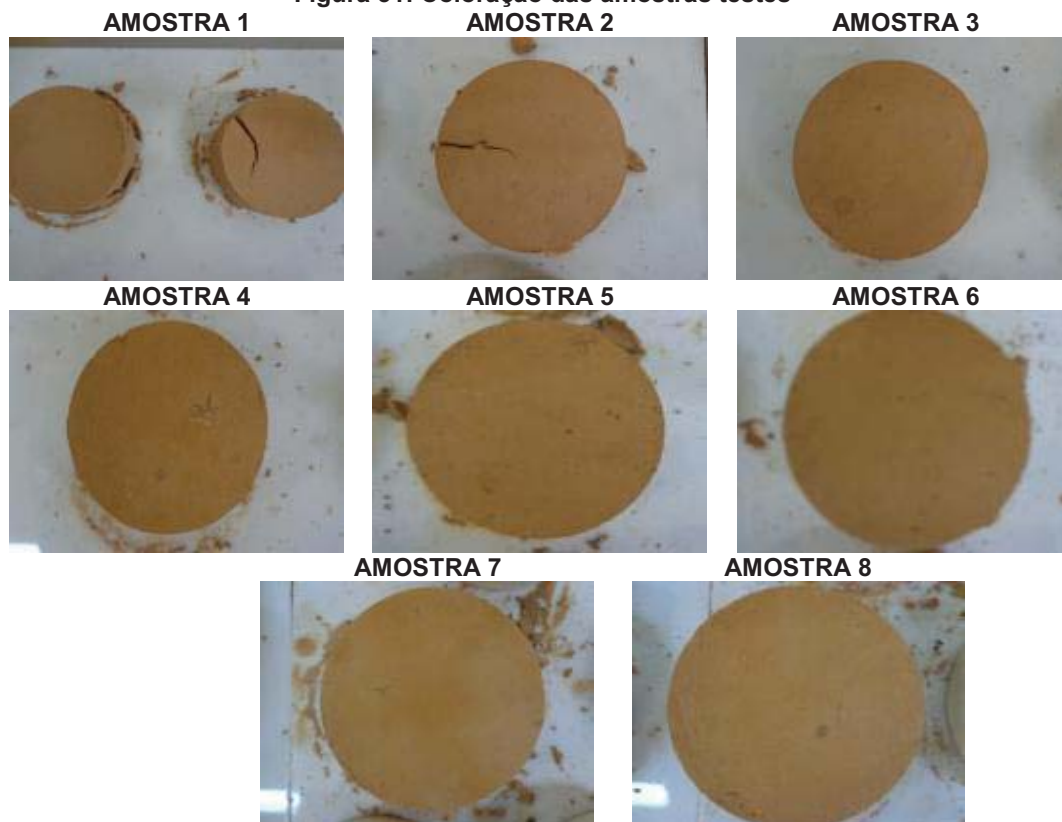
do preenchimento da pastilha. Estes espaços e trincas estão ilustrados na Figura 30 abaixo.



Fonte: O Autor (2013).

Como as pastilhas cerâmicas são para acabamentos, um dos principais aspectos observados foi à coloração da amostra, a Figura 31 apresenta a coloração dos traços estudados tanto para o lodo seco em *in natura* como em filtro. Pode-se observar que as amostras 3, 4, 5 e 6 ficaram com um tom de marrom mais escuro, estas foram feitas com os traços 1 e 4 que contém maior quantidade de lodo, já as amostras 1, 2, 7 e 8 ficaram com uma coloração marrom mais claras, onde as mesmas foram feitas com os traços 2 e 3 contendo uma quantidade menor de lodo se comparado com os traço 1 e 4.

Figura 31: Coloração das amostras testes



Fonte: O Autor (2013).

Outro item observado foi à retração das amostras, pois a mesma é indesejada na fabricação da pastilha cerâmica, quanto maior a sua retração maior a probabilidade de variabilidade das suas dimensões, ocasionando peças não conformes e de baixa qualidade. A Tabela 10 abaixo ilustra os dados obtidos.

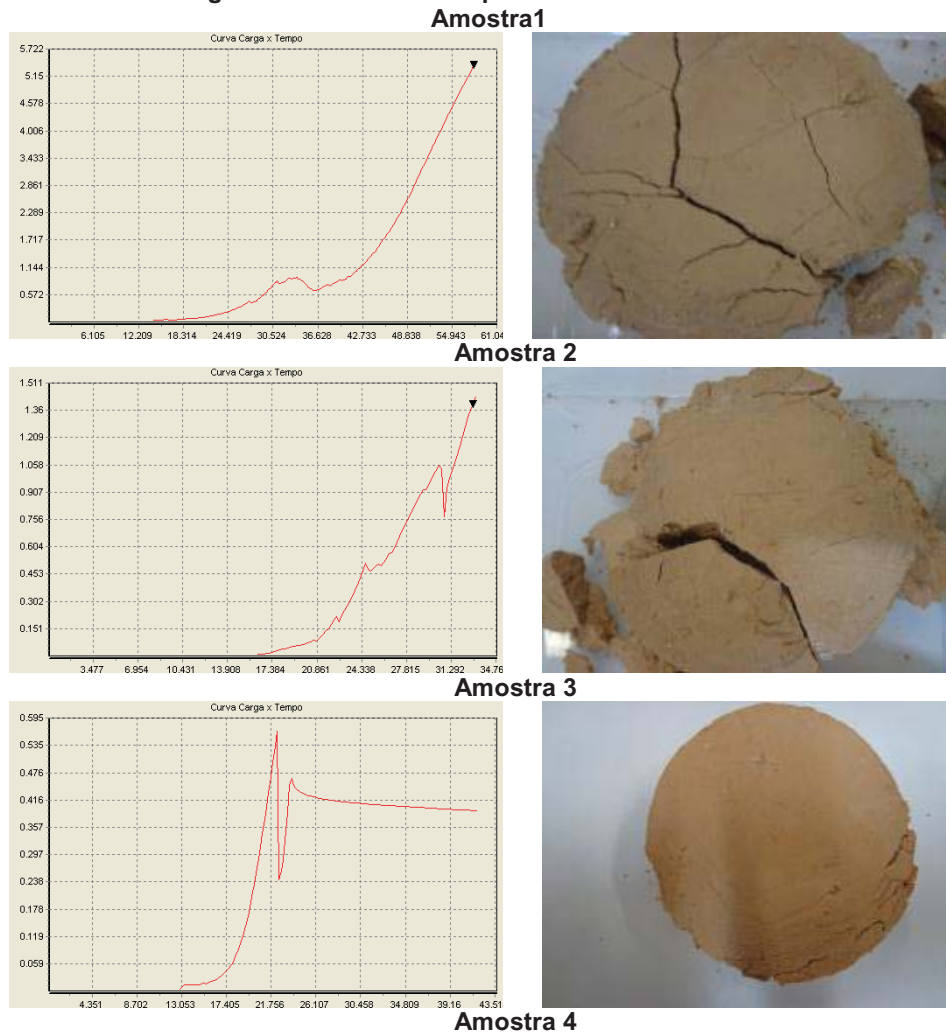
Tabela 10: Retração das amostras testes

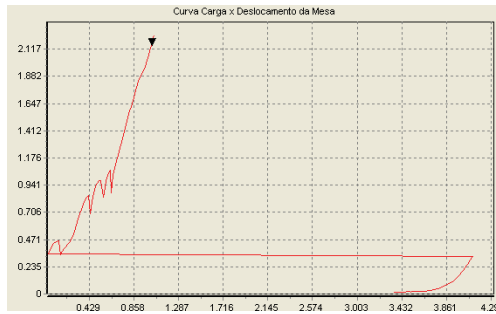
Amostra	Varição diâmetro (%)	Varição espessura(%)
Amostra 1	13	10
Amostra 2	12	8
Amostra 3	9	8
Amostra 4	17	14
Amostra 5	14	10
Amostra 6	15	13
Amostra 7	9	3
Amostra 8	9	4

Fonte: O Autor (2013).

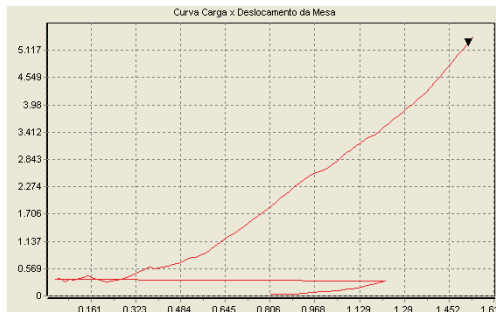
Outro ponto analisado nas amostras testes foi quanto a sua resistência, mas devido as amostras terem discrepância em relação ao seu diâmetro e espessura, as rupturas das peças ficaram defasadas com muita dificuldade para afirmar em quantos kN as peças entravam em colapso. Na Figura 32 ilustra os gráficos obtidos no ensaio de ruptura das amostras testes e as pastilhas após o ensaio de ruptura das mesmas e na Figura 33 ilustra a máquina universal de ensaio que foi utilizada para a realização do ensaio.

Figura 32: Gráficos de ruptura das amostras testes

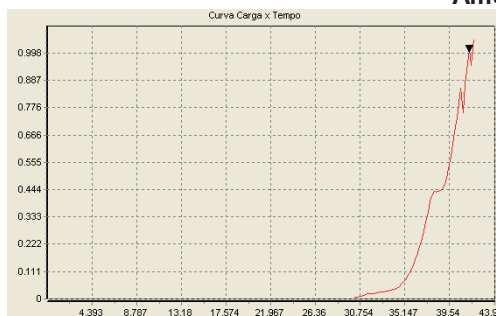




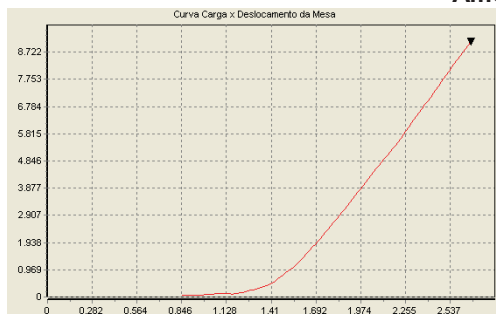
Amostra 5



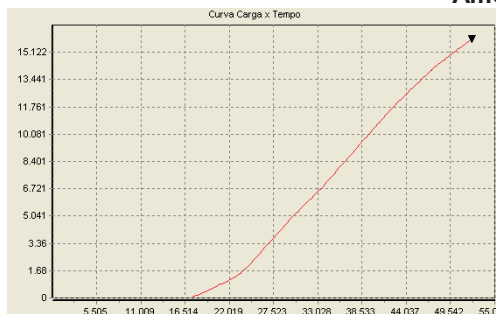
Amostra 6



Amostra 7



Amostra 8



Fonte: O Autor (2013).

Figura 33: Máquina de ensaio

Fonte: O Autor (2013).

Como nas amostras testes se encontraram muitos espaços vazios, optou-se por diminuir a espessura do molde para 1,5 cm de espessura. Analisando também as amostras testes pela coloração dois traços se destacaram, onde as amostras testes eram a 3,7 e 8. As amostras com menor retração também foram às amostras citadas anteriormente.

Após uma análise sobre os resultados obtidos quanto à retração e uma discussão com a Prof^a Dr^a Caroline Angulski da Luz, responsável pela área de materiais, definiu-se pela colocação de areia no traço, com o objetivo de diminuir a retração das amostras.

Analisando os gráficos de ruptura e as próprias amostras após o teste, pode-se afirmar que as amostras 7 e 8 tiveram uma melhor resistência em comparação com as demais amostras. Após discussão com a Prof^a Dr^a Caroline Angulski da Luz e com os orientadores, optou-se por adicionar cimento no traço para as próximas amostras testes.

Assim, após as análises feitas, dois novos traços foram escolhidos para a continuidade da pesquisa:

- 1) 2% Cimento¹⁰, 5% Areia¹¹, 8% Cal¹², 15% Lodo e 70% Argila.

¹⁰ Cimento utilizado para a pesquisa foi o CP II- Z- 32

¹¹ Areia utilizada para a pesquisa foi areia fina

2) 2% Cimento, 5% Areia, 8% Cal, 10% Lodo e 75% Argila.

Um novo molde também foi adotado, obedecendo aos critérios estabelecidos para o Molde I, na Figura 34 ilustra o novo molde estabelecido (Molde II). O mesmo é constituído de uma peça cerâmica, 3 pedaços de madeira compensada de 13 mm de espessura espaçados na ordem de 16 cm colados com cola quente na peça cerâmica, onde a compactação das amostras é efetuado com um rolo de madeira, comumente utilizado para a confecção de massas.

Figura 34: Molde II para confecção das pastilhas cerâmicas testes



Fonte: O Autor (2013).

5.3. Resultados das pastilhas com Molde II e com 1,3 cm de espessura

Nas pastilhas teste se observou que a compactação foi realizada corretamente, não observando os espaços vazios que tinham ocorrido com o método utilizado anteriormente, as trincas diminuíram significativamente, a Figura 35 ilustra as pastilhas com os dois novos traços, as mesmas foram secadas em local com ventilação e na sombra.

¹² Cal utilizada para a pesquisa foi a cal hidratada

Figura 35: Amostras testes molde II com espessura de 1,3 cm
TRAÇO 1



TRAÇO 2



Fonte: O Autor (2013).

Pode-se observar que as pastilhas com o traço 2, ficaram com uma coloração marrom mais escura em relação ao traço 1. Nas pastilhas também foram encontradas algumas impurezas tais como pedriscos, na Figura 36 ilustram as impurezas encontradas nas pastilhas.

Figura 36: Impurezas encontradas nas pastilhas cerâmicas



Fonte: O Autor (2013).

Com a realização do ensaio, pode-se observar que os dois traços obtiveram uma resistência satisfatória, tendo em vista que o material estudado não tem fins de estruturas, tendo sim que sustentar o seu próprio peso quando o mesmo for assentado na parede. Observou-se também que o traço 2 obteve uma maior resistência comparado com o traço 1.

As pastilhas cerâmicas com 1,3 cm de espessura obtiveram uma boa resistência. O teste realizado foi manual, onde com as mãos se pegavam as amostras teste e, tentava-se com que as mesmas entrassem em ruptura. Observou-se que a força empregada para que as mesmas se rompessem era elevada, tendo assim um bom desempenho a resistência à ruptura.

5.4. Resultados das pastilhas com Molde II e com 0,8 cm de espessura

Nas pastilhas teste com espessura de 0,8 cm observou-se que a compactação também foi realizada corretamente, não observando espaços vazios e pouca presença de trincas nas amostras com os dois traços estudados, a Figura 38 ilustra as pastilhas de 0,8 cm com os dois traços estudados após o processo de confecção e secagem do material, onde os mesmos foram secados em local com ventilação e sombra.

Figura 38: Amostras testes molde II espessura de 0,8 cm
TRAÇO 1 **TRAÇO 2**



Fonte: O Autor (2013).

Nas amostras teste de 0,8 cm também se pode observar que o traço 2 esteve com uma coloração marrom mais claro em relação ao traço 1. Sendo

maior ainda a diferença de coloração se considerar as pastilhas com 1,3 cm com as de 0,8 cm.

Observou-se também a retração das pastilhas cerâmicas, estes os dados estão representados abaixo na Tabela 13.

Tabela 13:Retração das pastilhas cerâmicas com espessura de 0,8 cm

TRAÇO	Varição do comprimento (%)	Varição da espessura (%)
TRAÇO 1	6,8	1,52
TRAÇO 2	6,5	1,32

Fonte: O Autor (2013).

As pastilhas cerâmicas com espessura de 0,8 cm, não obtiveram um bom desempenho considerando a resistência a ruptura. O teste realizado foi manual, o mesmo realizado com as pastilhas cerâmicas de espessura de 1,3 cm. Observou-se que quando aplicada uma pequena força nas pastilhas cerâmicas com espessura de 0,8 cm as mesmas entravam em ruptura, com isso a espessura de 0,8 cm foi descartada pelo fraco rendimento a resistência à ruptura.

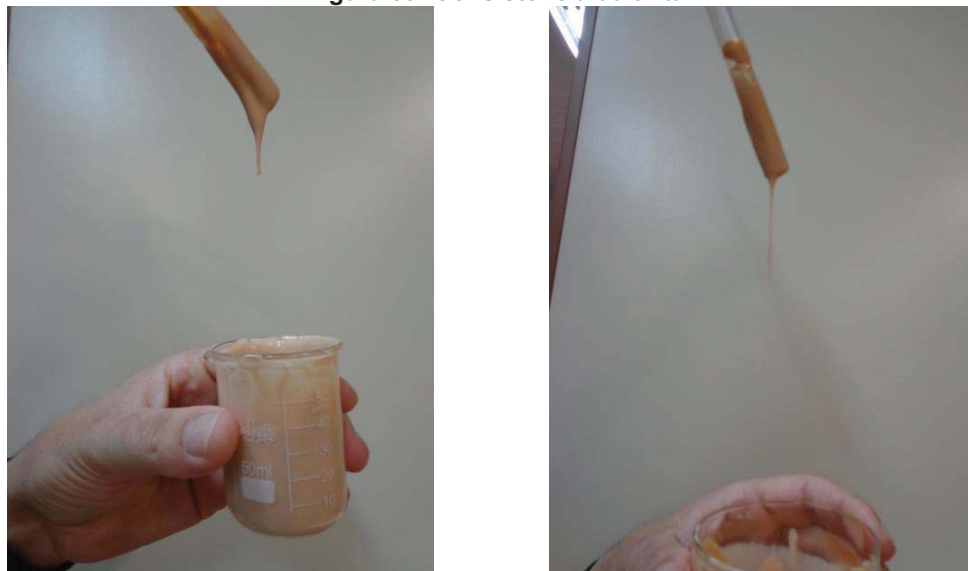
5.5. Confeccões das tintas, pintura das pastilhas cerâmicas e confeccão do mosaico

Para a confeccão das tintas, foram utilizados:

- 5 g de corrente utilizado para tingir tecido ou 5 g de material orgânico (erva-mate, terra);
- 15 ml de água;
- 15 g de cola PVA;
- 5 g de cal hidratada.

A Figura 39 ilustra a consistência da tinta antes da aplicação da mesma sobre as pastilhas cerâmicas.

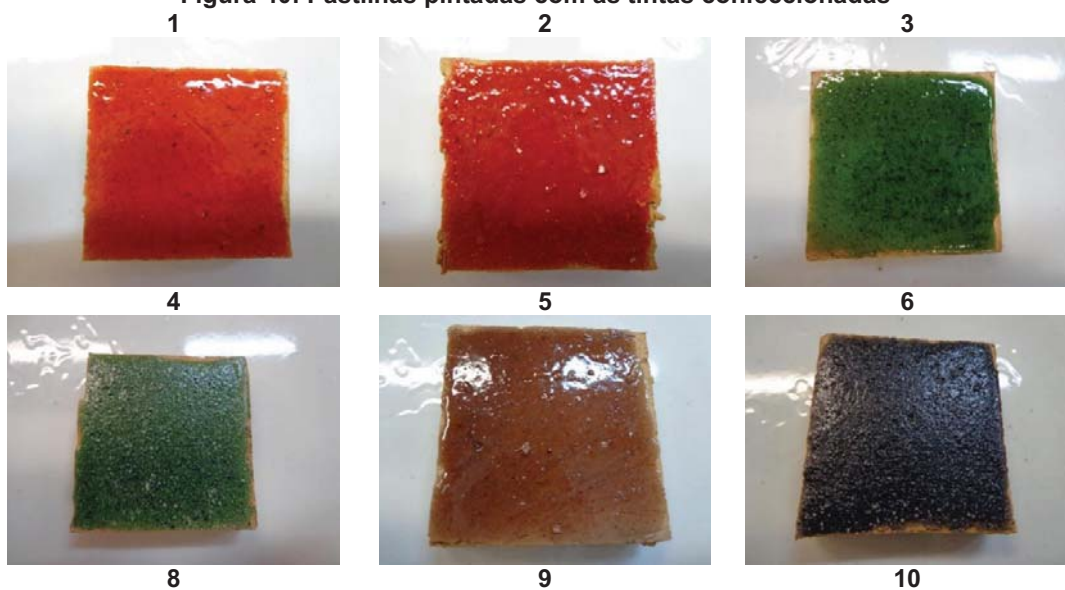
Figura 39: Consistência da tinta



Fonte: O Autor (2013).

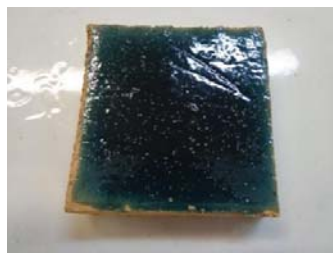
Após a confecção das tintas, as mesmas eram aplicadas sobre a superfície superior das amostras teste. Os cuidados na hora da aplicação da tinta nas pastilhas eram que a tinta estivesse bem homogeneizada e que a tinta cobrisse toda a superfície da amostra. Na Figura 40 apresentam-se as tintas escolhidas após a fabricação para a realização de uma pesquisa informal em rede social, para ver qual das cores seria mais aceita pela sociedade. Na Tabela 14 são apresentados os dados obtidos na pesquisa.

Figura 40: Pastilhas pintadas com as tintas confeccionadas





11



12



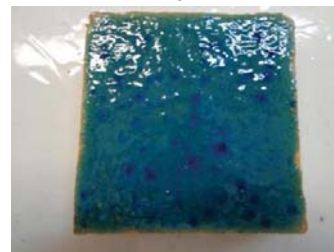
13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



Fonte: O Autor (2013).

Tabela 14: Pesquisa de preferencia das cores das pastilhas

Cor	Nº de votos	Cor	Nº de votos
1	23	13	16
2	11	14	5
3	13	15	
4	1	16	3
5		17	1
6	2	18	
7		19	2
8	7	20	
9	2	21	11
10	2	22	3
11	11	12	12

Fonte: O Autor (2013).

Pode-se observar que de acordo com a pesquisa realizada, as cores 1 (Vermelho translúcido) e a 13 (Azul translúcido) obtiveram um maior percentual de votos 23 e 16 respectivamente.

Após pintar as pastilhas cerâmicas, foram deixadas para secar em um local com ventilação e sombra. Após 24 horas as amostras já estavam em condição de uso.

Decidiu-se pela realização de um mosaico, o mesmo foi construído sobre madeira, em sua face superior e na face inferior das amostras foi passado cola PVA e posteriormente coladas as suas superfícies de modo a formar o mosaico pré-definido.

Para deixar o espaçamento entre as pastilhas foram utilizados palitos de fósforo, posteriormente a esse processo foi deixado as pastilhas secarem por 4 horas, após esse tempo foi aplicado o rejunte utilizado para artesanatos, depois de uma hora da aplicação do rejunte, com o auxílio de uma esponja foi retirado uma parte do excesso do rejunte existente nas pastilhas (limpeza grossa) e somente depois de 72 horas que pode ser retirado o restante do excesso do rejunte, para uma limpeza final. Na Figura 41 ilustra o momento em que o mosaico estava sendo montado e após o rejunte aplicado.

Figura 41: Mosaicos com as pastilhas cerâmicas estudadas



Fonte: O Autor (2013).

5.6. Classificação das pastilhas.

5.6.1. Esmaltada e não esmaltada

De acordo com a NBR 13817- (1997) as pastilhas se dividem em dois grupos, esmaltadas (GL) ou não esmaltadas (UGL), assim a pastilha cerâmica estudada se classifica como não esmaltada (UGL).

5.6.2. Métodos de fabricação

Segundo a NBR 13817- (1997) as placas cerâmicas estão divididas em três grupos de fabricação: Placas cerâmicas extrudadas (A), placas cerâmicas prensadas (B) e placas cerâmicas produzidas por outros grupos (C). A pastilha estudada classifica como uma pastilha cerâmica prensada (B).

5.6.3. Grupos de absorção de água

Conforme NBR 13817- (1997) as placas cerâmicas estão agrupadas de acordo com a Tabela 15 pela absorção de água, esse ensaio é realizado conforme NBR 13818- (1997) anexo b, a Tabela 16 ilustra os dados obtidos com a realização do ensaio.

Tabela 15: Grupos de absorção de água

Grupos	Absorção de água (%)
Ia	$0 < \text{Abs} \leq 0,5$
Ib	$0,5 < \text{Abs} \leq 3,0$
IIa	$3,0 < \text{Abs} \leq 6,0$
IIb	$6,0 < \text{Abs} \leq 10,0$
III	Abs acima de 10

Fonte: NBR 13817- (1997).

Tabela 16: Ensaio de Absorção de água das pastilhas cerâmicas

Peça	M_1	M_2	Umidade (%)	Peça	M_1	M_2	Umidade (%)
1	27,21	38,15	40,07	6	26,42	36,96	39,77
2	26,56	37,47	41,13	7	25,84	36,33	40,69
3	28,01	38,61	37,85	8	26,73	37,54	40,44
4	26,81	37,35	39,17	9	27,47	38,61	40,87
5	27,98	38,92	39,42	10	26,82	37,68	40,29

Fonte: O Autor (2013).

Conforme estabelecido na NBR 13818- (1997) a absorção de água pela placa cerâmica é a média aritmética dos resultados para os corpos de prova ensaiados, portanto a Absorção das pastilhas estudadas foi de 39,9%, classificando-se como grupo III de Absorção.

Segundo a NBR 13818- (1997) deve-se usar um código constituído pelo método de fabricação A, B ou C, acrescidos do grupo de absorção I, II e III, utilizando subgrupos a ou b, como mostrado na Tabela 17 abaixo.

Tabela 17: Codificação dos grupos de absorção de água em função do método de fabricação

Absorção da água (%)	Método de fabricação		
	Extrudada A	Prensada B	Outros C
$0 < \text{Abs} \leq 0,5$	AI	Bla	CI
$0,5 < \text{Abs} \leq 3$		Blb	
$3 < \text{Abs} \leq 6$	Alla	BIIa	CIIa
$6 < \text{Abs} \leq 10$	Allb	BIIb	CIIb
$\text{Abs} > 10$	AIII	BIII	CIII

Fonte: NBR 13817- (1997).

De acordo com a NBR 13817- (1997) as pastilhas analisadas se classificam como prensadas (B), Abs maior que 10% pertencendo ao grupo III, obtendo assim o seguinte código, BIII.

5.6.4. Classes de resistência à abrasão superficial

Conforme NBR 13817- (1997) a abrasão esta classificada de acordo com a Tabela 18 abaixo, da NBR 13818- (1997)

Tabela 18: Estágios de abrasão

Estágio da abrasão Número de ciclos para a visualização	Classe da abrasão
100	0
150	1
600	2
750,1200	3
2100,6000,12000	4
>12000	5

Fonte: NBR 13818- (1997).

O ensaio de abrasão não pode ser realizado pela falta de aparelhos para a sua realização, mais pode se observar com um teste realizado manualmente, que as pastilhas cerâmicas estudadas quando aplicada uma força com a mão sobre a superfície escorregando sobre a mesma, repetindo esse processo algumas vezes o material já apresentava alterações (como perda da tinta e em caso de natural, o 'esfarelamento', assim a pastilha estudada foi classificada como classe de abrasão 0.

5.6.5. Classes de resistência ao manchamento ou classes de limpabilidade

De acordo com a NBR 13817- (1997) as pastilhas cerâmicas estão divididas em 5 classe:

- Classe 5: máxima facilidade de remoção de mancha;
- Classe 4: mancha removível com produto de limpeza fraco;
- Classe 3: mancha removível com produto de limpeza forte;
- Classe 2: mancha removível com ácido clorídrico, hidróxido de potássio e tricloroetileno;

- Classe 1: impossibilidade de remoção das manchas.

Assim de acordo com a NBR 13817- (1997) as pastilhas estudadas são classificadas como classe 1, impossibilidade de remoção das manchas.

5.6.6. Classes de resistência ao ataque de agentes químicos

Segundo a NBR 13817- (1997) deve-se usar um código de especificação constituído pelas classes de resistência químicas A, B ou C, junto com as concentrações H ou L dos agentes químicos, como mostrado na Tabela 19.

Tabela 19: Codificação dos níveis das resistências químicas

Agentes químicos		Níveis de resistência química		
		Alta A	Média B	Baixa C
Ácidos e Álcalis	Alta concentração H	HA	HB	HC
	Baixa concentração L	LA	LB	LC
Produtos domésticos e de piscinas		A	B	C

Fonte: NBR 13817- (1997).

As pastilhas estudadas não tiveram nenhum processo de queima, assim sendo não houve cristalização das mesmas, portanto não foi necessário fazer o teste de resistência química para as pastilhas, pois a sua resistência é praticamente nula a qualquer agente químico, portanto pode ser classificada como baixa concentração e baixa resistência química, obtendo o código LC.

5.6.7. Aspectos superficiais ou análise visual

Conforme a NBR 13817- (1997), a classificação sobre o aspecto visual, deve ser realizada de acordo com o Anexo A da NBR 13818- (1997). Porém a NBR 13818- (1997) descreve que placas cerâmicas para revestimento, com área menor que 52 cm² a norma não se aplica. Portanto as pastilhas foram classificadas pelo critério da NBR 13817- (1997) de que as pastilhas para serem de classe A, não poderão ter um índice inferior a 95% das peças examinadas não apresentarem defeitos visuais. Assim as pastilhas cerâmicas foram classificadas como classe B, por terem uma variação considerável das suas dimensões.

Na tabela 20, ilustra a classificação das pastilhas conforme a NBR 13817.

Tabela 20: Classificação das pastilhas cerâmicas

Critério	Classificação
Esmaltada ou não esmaltada	Não esmaltada (UGL)
Método de Fabricação	Cerâmica Prensada (B)
Grupos de Absorção de Água	III
Classe de resistência a abrasão	Classe 0
Classe de resistência ao manchamento	Classe 1
Classe de resistência ao ataque de agente químico	Baixa Resistencia (LC)
Aspectos Superficiais	Classe B

Fonte: O Autor (2013).

5.7. Orçamento

De forma a obter os custos para a confecção das pastilhas cerâmicas, realizou-se uma pesquisa em empresas que comercializavam os materiais necessários para a fabricação da pastilha desde a sua secagem até que as mesmas fossem pintadas, assim podendo fazer uma análise de viabilidade econômica para o público alvo da pesquisa. Para o cálculo do orçamento foi utilizada a secagem *in natura* e a tinta opaca. Os valores expostos na Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23 correspondem aos preços médios praticados por três fornecedores diferentes situados na cidade de Pato Branco.

Tabela 21: Preço médio de Pato Branco para o material utilizado para a secagem do lodo

SECAGEM DO LODO		
Material	Unidade	Valor unitário médio (R\$)*
Lona plástica preta	m ²	0,70

* - Valor pesquisado em agosto de 2013

Fonte: O Autor (2013).

Tabela 22: Preço médio de Pato Branco para os materiais utilizados para a fabricação da pastilha cerâmica

FABRICAÇÃO DO LODO		
Material	Unidade	Valor unitário médio (R\$)*
Lodo	Kg	-
Argila	Kg	1,00
Cal	Kg	0,40
Cimento	Kg	2,51
Areia	m ³	95,00

* - Valores pesquisados em agosto de 2013

Fonte: O Autor (2013).

Tabela 23: Preço médio de Pato Branco para o material utilizado para a confecção da tinta

TINTA		
Material	Unidade	Valor unitário médio (R\$)*
Corante	G	0,04
Cola PVA	G	0,0075
Cal	Kg	0,40
Água	m ³	21,00

* - Valores pesquisados em agosto de 2013

Fonte: O Autor (2013).

Através desses valores e o consumo do material pode-se determinar o custo médio de materiais para a composição das pastilhas. Os valores apresentados na Tabela 24 considera o consumo para a fabricação de 1000 pastilhas.

Tabela 24: Preço médio para a fabricação de 1 milheiro de pastilha cerâmica

Material	Unidade	Quantidade	Custo (R\$/1000 pastilha)*
Lona plástica preta	m ²	1,000	0,70
Lodo	Kg	3,900	-
Argila	Kg	29,250	29,250
Cal	Kg	3,745	1,498
Cimento	Kg	0,780	1,9578
Areia	m ³	0,0013	0,1235
Corante	g	625	25,00
Cola PVA	g	1875	14,06
Água	m ³	1,875	39,375
TOTAL			111,97

* - Esta considerando apenas o material

Fonte: O Autor (2013).

Analisando os resultados, observou-se que o custo unitário de cada pastilha ficou em R\$ 0,1112, salientando que esse preço não considerou a mão de obra para a confecção das pastilhas e nem os materiais utilizados para a confecção do molde.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lodo proveniente de decantadores de ETAs não pode ser atualmente despejado em corpos d'água, devido ao seu impacto ambiental, com o aumento de turbidez local e serem classificados como resíduos sólidos. Deste modo, são necessários estudos de descarte corretos destes efluentes. Para isso, analisou-se a possibilidade de uso deste lodo para a fabricação de pastilhas cerâmicas artesanais, incentivando o uso do lodo por artesões locais.

Com este estudo observou-se que o lodo lançado pela concessionária em corpos d'água está infringindo a lei, pois de acordo com o CONAMA seção II, Art. 16 os efluentes só podem ser lançados nos corpos d'água se o material estiver abaixo de 1mL/L, caso que não acontece na ETA de Pato Branco onde com o ensaio realizado na pesquisa chegou-se ao valor de 1000 mL/L, valor bem acima do permitido.

A desidratação do lodo foi realizada através do filtro, onde o mesmo não obteve o desempenho esperado, desidratando o lodo até determinada umidade, a qual não proporcionou uma umidade adequada (percebeu-se o excesso de umidade e aumento na retração das pastilhas) para se trabalhar, mesmo fazendo a mistura com os demais materiais do traço, a umidade ficava acima da umidade ideal de compactação, optando-se assim por utilizar somente a secagem *in natura*.

As pastilhas com 2 cm de espessura não obtiveram bons resultados em sua compactação, com inúmeros espaços vazios e trincas, mas apresentaram uma boa resistência à ruptura. Já as pastilhas cerâmicas com 1,3 cm obtiveram uma melhor compactação, praticamente eliminando a presença de vazios e trincas nas pastilhas cerâmicas, com um número muito baixo de peças com defeitos e obtendo um bom desempenho na resistência à ruptura. As pastilhas cerâmicas com a espessura de 0,8 cm também apresentaram facilidade da compactação, gerando poucas peças com presença de pequenos trincas, mais não tiveram um bom desempenho em relação à resistência à ruptura, onde com muita facilidade a mesma entrava em colapso.

Alguns cuidados no momento da compactação das pastilhas podem ser observados, como a compactação em camadas, , pois se observou que quanto maior a espessura da pastilha maior a chance de presença de trincas.

O molde utilizado inicialmente, Molde I, não teve o rendimento esperado, pois dificultava a visualização da massa da pastilha no momento da compactação, assim o Molde II a teve um melhor desempenho, podendo se observar com uma maior clareza, porém apresentou dificuldades de montagem do mesmo,, com uma necessidade de melhor fixação da madeira com a placa cerâmica, pois com o uso da cola quente em dias frios ou chuvosos (muita umidade no ar) apresentou uma grande dificuldade em fixação da madeira com a cerâmica base.

A tinta utilizada para pintar as pastilhas ofereceu qualidade ao produto ajudando a proteger o material, deixando-o com aspecto bonito e ajudando a proteger o material. Na comparação entre as tintas translúcidas e opacas, observou-se que a tinta opaca teve uma melhor resistência quando submetida a alguma limpeza leve, como um pano úmido.

Com os 6 traços estudados observou-se que a quantidade ideal de lodo era de 10%, para que se obtenha uma pastilha de boa qualidade. Os 2 traços escolhidos para a sequência do estudo, obtiveram uma boa resistência, deixando claro, que a composição na parte da resistência está bem definida, podendo ainda realizar a substituição do cal pelo gesso, para verificação da facilidade de compactação das amostras durante o processo de fabricação, se diminui o índice de peças com presença de trincas, por ser um material inerte podendo ou não substituir a areia, ou ainda trabalhar em paralelo para diminuir o índice de retração.

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização do lodo da ETA de Pato Branco pode ser realizada para a confecção de pastilhas cerâmicas de artesanato para comunidade carente. Porém alguns fatores devem ser melhorados, o principal desses fatores para que o produto possa ser fabricado, refere-se ao seu processo de produção, tendo como necessidade um estudo mais aprofundado de um molde e um método mais eficaz para a divisão das pastilhas, diminuindo assim a chance das peças apresentarem trincas e variação de tamanhos ocasionados pelo processo construtivo.

Sem que a pastilha cerâmica não ofereça um resultado satisfatório comparando com as já existentes no mercado, apesar do preço competitivo e das possíveis vantagens sustentáveis do seu uso, minimizando os impactos ambientais gerados pelo lançamento do lodo nos corpos d'água, é pouco provável a sua aceitação no mercado.

Fazer o uso do lodo de ETA, o resíduo das concessionárias de abastecimento de água, é possível a obtenção de benefícios tanto para as concessionárias quanto para o meio ambiente, pois as concessionárias tem como dar o destino do seu resíduo, podendo com um estudo mais aprofundado, ser uma fonte de renda para a mesma. Já o meio ambiente sai ganhando em reduzir a poluição dos seus rios, que hoje são tão afetados por poluições antrópicas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457-1986**- Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização

_____. **NBR 6459-1984**: Solo- Determinação do limite de liquidez

_____. **NBR 7180- 1984**: Solo- Determinação do limite de plasticidade

_____. **NBR 7182- 1986**: Solo- Ensaio de compactação

_____. **NBR 9898- 1987**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

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

_____. **NBR- 10561- 1988**: Águas- Determinação de resíduos sedimentável (sólidos sedimentáveis)- Método do cone de Imhoff

_____. **NBR 13816- 1997**: Placas cerâmicas para revestimento- Terminologia.

_____. **NBR 13817- 1997**: Placas cerâmicas para revestimento- Classificação.

_____. **NBR 13818- 1997**: Placas cerâmicas para revestimento- Especificação e métodos de ensaio.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914 de 14 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011.

BAUER. Luiz A. F. **Materiais de construção**. 5 ed. revisada. Revisão Técnica: João Fernando Dias, Rio de Janeiro: LTC, 2010.

CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988.

Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Acesso em 04/04/2013. Disponível em: www.ana.gov.br

GIL. Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

FREITAS, Cleverson de. **Argamassas de Revestimento com Agregados Miúdos de Britagem na Região Metropolitana de Curitiba**: Propriedades no Estado Fresco e Endurecido. 2010. (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.
<http://www.ibge.gov.br/home/>

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO DE PATO BRANCO (IPPUPB). **Mapas de Leituras técnicas.** Disponível em <<http://www.ippupb.org.br/>>. Acesso em 20 de julho de 2013.

M. JUNIOR, Vanderlei M. T. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de lodo de estação de tratamento de água, micro esferas de vidro de jateamento, sais de neutralização de ácidos de baterias e areia de fundição.** 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais). Programa de Pós- Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

KLOSS, Cesar L. **Materiais para construção civil.** 1 ed. Curitiba: CEFET- PR, 1991.

Lei 9433, de janeiro de 1987-Política Nacional de Recursos Hídricos.

Lei 9605, 12 de fevereiro de 1998- Crimes Ambientais.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.** 3. ed. Campinas: Atomo, 2010.

MANUAL DE SANEAMENTO FUNASA. **Informações Técnicas.** Brasília, 2004.

M. JUNIOR, Vanderlei M. **Desenvolvimento de Novos Materiais Cerâmicos a Partir de Lodo de Estação de Tratamento de Água, Micro Esferas de Vidro de Jateamento, Sais de Neutralização de Ácidos de Baterias e Areia de Fundição.** 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009

PAIXÃO, Luiz C. C. **Aproveitamento de Lodo De Estação de Tratamento de 'Água em Cerâmica Vermelha.** 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado Engenharia dos Materiais) Programa de Pós- Graduação em Engenharia dos Materiais. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Ouro Preto, 2005.

PETRUCCI. Eládio G. R. **Meterias de construção.** 10 ed. São Paulo: Globo, 1995.

POZZOBON, João C.; LUCAS, Juliana F. R.; MORA, Nora D. **Avaliação de M'métodos de Tratamento do Lodo da ETA para a Utilização em Cerâmica Artística.** IV Congresso da Academia Tri nacional de Ciências. Foz do Iguaçu: UNIOESTE, 2009.

RESOLUÇÃO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE Nº 430, **Dispões Sobre as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, Complementa e Altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do**

RICHTER, Carlos A. **Água Método e Tecnologia de Tratamento**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2009.

SILVA, Cristiane Z. **Relatório final de atividades (iniciação científica)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, 2010.

SILVEIRA, Cristiane. **Deságuamento de Lodo de Estação de Tratamento de Águas Pluviais por Leito de Drenagem/ Secagem com Manta Geotêxtil**. 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismos. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2012.

TSUTIYA, Milton T.; HIRATA, Angélica Y. **Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água do Estado de São Paulo**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: ABES, 2001.

WIECHETECH, Giovana K.; CORDEIRO, João S. **Gestão Ambiental de Sistemas de Tratamento de Água**. XXVIII Congresso Internacional de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancún: AIDIS, 2002.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso, Planejamento e Métodos**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

ANEXOS

ANEXO 1: Tabela- Parâmetros físicos- químicos

Parâmetro	Tipo de Frasco	Volume mínimo	Preservação	Prazo para análise	Observação
Acidez	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	24 h	
Alcalinidade	P,V	200 mL	Refrigerar a 4°C	24 h	(A)
Boro	P	100 mL	Refrigerar a 4°C	28 dias	
Brometo	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	28 dias	
Carbono orgânico total	V	100 mL	H ₂ SO ₄ ou HCl até pH < 2. Refrigerar a 4°C	7 dias	
Cálcio	P		Refrigerar a 4°C	7 dias	
Cianeto Total	P,VA	500 mL	NaOH 10 N até pH > 12. Refrigerar a 4°C	24 h	(B)
Cloreto	P,V	250 mL		7 dias	
Cloro residual	P,V	500 mL	Refrigerar a 4°C	30 min	Analisar imediatamente
Condutividade	P,V	500 mL	Refrigerar a 4°C	28 dias	
Cor	P,V	300 mL	Refrigerar a 4°C	48 h	
Cromo hexavalente	P,V	300 mL	Refrigerar a 4°C	24 h	C
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	P,V	2000 mL	Refrigerar a 4°C	7 dias	
Demanda química de oxigênio (DBO)	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	7 dias	
Dióxido de carbono (CO ₂)	P,V	100 mL	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C	-	Analisar imediatamente
Dureza	P,V	100 mL	HNO ₃ conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C	180 dias	
Fenóis	V	1000 mL	H ₃ PO ₄ 1:0 até pH < 2. Refrigerar a 4°C	24 h	D
Fluoreto	P	1000 mL	-	18 dias	
Ferro ferroso	P,V	100 mL	2mL HCl conc./100 mL de amostra	180 dias	E
Ortofosfato	P	100 mL	Refrigerar a 4°C	24 h	F

Fosfato inorgânico	V	100 mL	H ₂ SO ₄ até pH < 2. Refrigerar a 4°C	24 h	
Fósforo total	V	200 mL	H ₂ SO ₄ até pH < 2. Refrigerar a 4°C	28 dias	
Fósforo total dissolvido	V	200 mL	H ₂ SO ₄ até pH < 2. Refrigerar a 4°C	24 h	
Herbicidas fenoxiácidos clorados	VA com tampa teflon	1000 mL	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C	12 h	G
Índice de volume de iodo	P,V	1000 mL	Refrigerar a 4°C	7 dias	
Iodeto	P,V	300 mL	Refrigerar a 4°C	24 h	
Iodo	P,V	500 mL	-	30 min	Analisar imediatamente
Mercúrio	P,V	500 mL	2mL sol. K ₂ Cr 207 a 20% dissolv. em sol. HNO ₃ 1:1. Refrigerar a 4°C	24 dias	H
Metais (em água)	P,V	1000 mL	HNO ₃ conc. até pH < 2	180 dias	I
Nitrato	P,V	200 mL	H ₂ SO ₄ até pH = 2. Refrigerar a 4°C	48 h	
Nitrito	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	74 h	J
Nitrogênio albuminóide	P,V	500 mL	H ₂ SO ₄ até pH < 2. Refrigerar a 4°C	24 h	L
Nitrogênio amoniacal e/ou orgânico	P,V	1000 mL	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C	24 h	L
Nitrogênio total kjeldahl	P,V	1000 mL	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C	7 dias	L
Odor	V, tampa esmerilhada	1000 mL	Refrigerar a 4°C	-	Analisar o mais breve possível
Óleos e graxas	V, boca larga	1000 mL	Refrigerar a 4°C	28 dias	M
Oxigênio consumido	P, V	150 mL	2mL sol. sulfato manganoso e 2 mL sol. álcali	24 h	

			iodeto-azida		
Oxigênio dissolvido		300 mL	H ₂ SO ₄ até pH < 2 e 10 g Na ₂ SO ₄ /L	8 h	N
Pesticidas carbonatos		-	Refrigerar a 4°C	-	Extraíremediatamente
Pesticidas organoclorados (águas)		1000 mL	Congelar imediatamente e preservar com formalina	7 dias	O
Pesticidas organoclorados (sedimentos)		1000 mL	Congelar imediatamente e ou preservar com 5 a 10% de formalina ou 70% etanol	60 dias	
Pesticidas organoclorados (mat. biológico)	Folhade Alumínio	10 g (organismos de fundo)	Congelar imediatamente	-	
Pesticidas organofosforados		1000 mL	Refrigerar a 4°C	4 dias	
pH	P, V	200 mL	Refrigerar a 4°C	6 h	Sempre que possível analisar imediatamente
pH de saturação	P, V	300 mL	HNO ₃ , até pH < 2 ou sal sódico de EDTA 0,4 g/100 mL de amostra	10 dias	
Prata	P,VA	250 mL	Refrigerar a 4°C	7 dias	
Resíduos graviméticos	P, V	1000 mL	Refrigerar a 4°C	7 dias	P
Resíduos sedimentares	P, V	1000 mL	Refrigerar a 4°C	28 dias	
Sílica	P	200 mL	Refrigerar a 4°C	7 dias	
Sulfato	P,V	300 mL	2mL de sol. acetato (Q) de zinco 2N/litro amostra e sol. NaOH 6 N até pH < 9	7 dias	
Sulfeto total	V	1000 mL	R	7 dias	Q
Sulfeto solúvel	V, boca estreita com tampa esmerilh	1000 mL	Refrigerar a 4°C	24 h	

	ada				
Sulfito	P, V	200 mL	Refrigerar a 4°C	24 h	Q
Surfactantes antônicos	P, V	500 mL	U	14 dias	
Triometanos	V	25 mL		24 h	V
Turbidez	P V,	200 mL	Refrigerar e manter ao abrigo da luz		

(A) Evitar a aeração da amostra. Encher completamente o frasco, sem deixar bolhas de ar. Fechá-lo imediatamente e abri-lo somente no momento da análise. Nos casos de atividade biológica evidente, a amostra deve ser analisada dentro de 6 h.

(A) Testar a presença de agentes oxidantes com o cloro, por exemplo, adicionando uma gota de amostra a uma fita de papel amido-iodeto. Caso surja coloração azul, adicionar cristais de ácido ascórbico até que o teste resulte negativo. Adicionar então 0,06 g de ácido ascórbico em excesso. Opcionalmente, utilizar cristais de tiosulfato de sódio e mais 0,1 g de Na₂S₂O₃ em excesso. Testar também a presença de sulfeto solúvel, colocando uma gota de amostra sobre papel de acetato de chumbo previamente umedecido em solução-tampão de ácido acético de pH 4. Enegrecimento do papel indica presença de sulfeto. Precipitar o sulfeto solúvel adicionando carbonato de chumbo em pó (ou ainda acetato de chumbo ou citrato de bismuto) até que o teste com papel resulte negativo. Filtrar a amostra depois de precipitar o sulfeto e só então alcalinizá-la com NaOH. Quando houver suspeita de presença de complexos metálicos de cianeto particulados, filtrar a amostra antes da precipitação do sulfeto, recompondo-a com o material particulado após a remoção do sulfeto precipitado.

(C) Os frascos devem ser lavados com ácido nítrico 1:1.

(D) Quando houver presença de H₂S ou SO₂, aerar a amostra ligeiramente antes de refrigerar.

(E) O ácido clorídrico deve ser adicionado ao frasco coletor antes da tomada da amostra. Encher o frasco completamente, sem deixar bolhas de ar.

(F) Amostras para análise de ortofosfato (e outras formas de fosfato) filtrável devem ser filtradas através de filtro de membrana com porosidade de 0,45 µm, imediatamente após a coleta (sobre lavagem do frasco, ver 4.2.2).

(G) Além da tampa de teflon, pode ser utilizada tampa de vidro esmerilhado, ou então tampa de borracha recoberta com folha de alumínio (sobre lavagem dos frascos, ver 4.2.2).

NBR 9898/1987 9

(H) Amostras para análise de mercúrio solúvel devem ser filtradas em membrana filtrante de porosidade 0,45 µm, imediatamente após a coleta, antes de adicionar os preservantes.

(I) Amostras para análise de metais dissolvidos devem ser filtradas em membrana filtrante de porosidade 0,45 µm, imediatamente após a coleta, e então acidificadas. Não utilizar frasco de vidro para sódio; não usar frasco de polietileno para lítio; coletar 1 L de amostra separada para lítio; usar, de preferência, frasco de teflon para zinco; preservar amostras de águas não poluídas filtradas, para análise de ferro, com ácido clorídrico; filtrar 1 L de amostra para selênio e 1 L para cromo.

(J) Nunca utilizar ácido na preservação de amostras para análise de nitrito.

(L) Eliminar cloro residual, se presente, por adição de solução de sulfito de sódio ou tiosulfato de sódio.

(M) Não é recomendável a coleta de amostras compostas para análise de óleos e graxas, pois pode haver perda de óleos e graxas no equipamento de amostragem. Quando necessária a média de determinado período de tempo, analisar porções individuais tomadas ao longo deste período. Nunca encher completamente o frasco.

(N) Utilizar frasco de vidro borossilicato com tampa esmerilhada e estreita (pontaguda), com selo d'água (indicar descrição no texto da norma, na seção de materiais para coleta). Imergir a ponta da pipetana líquido ao adicionar os preservantes.

(O) Em presença de cloro residual, adicionar 100 mg de Na₂S₂O₃ por litro de amostra.

(P) Analisar imediatamente as amostras contendo ferro ou manganês.

(Q) Adicionar solução de acetato de zinco 2 N ao frasco de coleta, antes da amostra. Evitar a aeração da amostra. Analisar de imediato quando houver presença de grande quantidade de ferro.

(R) Manter o pH entre 6 e 9. Clarificar a amostra, adicionando 2mL de solução NaOH 6 N e 2 mL de solução $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 6 N. Fechar o frasco (sem deixar bolhas de ar) e agitar bem por 1 min. Deixar decantar (apenas o tempo necessário), transferir o sobrenadante clarificado para outro frasco, por sifonação, sem borbulhar. Acrescentar 2mL de solução de acetato de zinco (imersão a ponta da pipeta na amostra).

(S) Preencher completamente o frasco e tampá-lo imediatamente, para reduzir o contato com ar.

(T) Utilizar frasco com boca estreita, com tampa rosqueada com septo de teflon faceado com silicone, capacidade de 25 mL. Colocar amostra em duplicata.

(U) Não deixar bolhas de ar no interior do frasco. Adicionar 2,5 a 3 mg de sulfito de sódio ou tiosulfato de sódio para cada 40 mL de amostra, ao frasco de coleta, antes de enchê-lo. Manter o frasco hermeticamente fechado até a extração da amostra.

(V) Ao coletar a amostra de corpos de água abertos, recolher 1000 mL da amostra em frasco de boca larga e, cuidadosamente, encher os tubos de coleta em duplicata a partir deste.

Nota: P = polietileno;

V = vidro borossilicato;

VA = vidro borossilicato âmbar.