UNIVERSIDADE DE SOROCABA

PRÓ-REITORIA ACADÊMICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROCESSOS TECNOLÓGICOS E AMBIENTAIS

Odirlei Amaro Ferreira

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE LODO PROVENIENTE DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE APARAS DE POLÍMERO

SOROCABA/SP

2017

Odirlei Amaro Ferreira

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE LODO PROVINIENTE DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE APARAS DE POLÍMERO

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência parcial para obtenção do título de mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Thomaz Augusto Guisard Restivo

SOROCABA/SP

2017

Odirlei Amaro Ferreira

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE LODO PROVENIENTE DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE APARAS DE POLÍMERO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Processo Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba.

Orientador: Prof. Dr. Thomaz Restivo

.

Aprovado em:____/____/_____

BANCA EXAMINADORA:

Pres.: Prof.DrºThomaz Augusto Guisard Restivo

Universidade de Sorocaba

1º Exam.:Prof. Drº Haroldo Lhou Hasegawa

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

2º Exam: Prof. Drº Nobel Penteado de Freitas

Universidade de Sorocaba

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, meu Filho Gustavo, minha Filha Lívia, minha Mãe, toda a minha Família e todos os amigos que sempre me deram força e, suporte desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Sorocaba pela bolsa de estudos concedida, pela disponibilização de sua estrutura.

Meus agradecimentos ao Prof. Dr.Thomaz Restivo, por sua sábia e precisa orientação, sua didática além de inspiradora é contagiante, meu respeito e admiração expressa neste espaço.

Ao Prof. Dr.Haroldo Lhou Hasegawa, pelo auxílio com a presente pesquisa, minha gratidão e admiração.

Ao Prof. Dr. Nobel, pelo auxílio incomensurável onde me norteou desde o início da minha pesquisa, em momentos críticos e oportunidades, minha gratidão e admiração.

A Cristiane, técnica de laboratório, que sempre me ajudou no NEAS, minha gratidão e admiração.

A toda a minha Família pela sua paciência e suporte nas horas difíceis foram cruciais, meu obrigado e admiração pela gratuidade deste amor, meus filhos Gustavo e Lívia.

Agradeço aos amigos, e principalmente aos Doutores (as) deste programa de mestrado pelos ensinamentos, dedicação e entusiasmo perceptíveis nas aulas e nas orientações.

Agradeço a empresa Qualitec pela oportunidade para a realização de diversos ensaios mecânicos que foi importante para esta dissertação

RESUMO

O segmento de produtos fabricados com as aparas de polietileno é um ramo atrativo no ponto de vista de redução de custo para produtos de baixo valor agregado, como sacos de lixo reciclados. Para a eficiência deste processo de reciclagem, são necessários alguns processos mecânicos, como a lavagem de aparas os quais geram resíduos que remontam, em média, a 25.000 litros de lodo por mês ou 300.000 litros por ano. O trabalho investiga soluções para incorporação deste resíduo em massas de tijolos argilosos. Para tanto, foram preparados corpos de provas com um percentual de 0%, 5% e 10% em massa de lodo gerado na estação de tratamento de água (ETA) do processo de lavagem de aparas de polietileno. Os materiais de partida - lodo e argila foram caracterizados previamente através de ensaios de picnometria, difração de raio-X, termogravimétria e análise térmica diferencial (TG/DTA), fluorescência de raios-X (FRX), pH, umidade e granulometria a laser, além de ensaios específicos para atestar a qualidade da argila. Tijolos retangulares queimados a 950°C foram submetidos a ensaios de compressão e densidade relativa. Com base nos resultados de resistência à compressão, podemos afirmar que é viável a utilização do lodo incorporado nesses teores na confecção de tijolos cerâmicos.

Palavras-chave: Resíduos de estação de tratamento de agua industrial. Tijolo cerâmico. Destinação final

ABSTRACT

Recycling products obtained from polyethylene shavings have been called great interest in order to save costs in low added value products such as plastic garbage bags. The exploiting of plastic residues holds some mechanical processes involving cutting and washing material scraps, which generates high volumes of sludge: 25.000 L per month or 300.000 L per year. The present work investigates some solutions for disposing the sludge related material, in special as additives for manufacturing clay bearing bricks. In order to study the residues viability as additive it was prepared samples containing 0, 5 and 10%, mass basis, of dry sludge from water treatment station of a typical company devoted to polyethylene recycling. The starting materials were characterized by several methods: picnometry, XR diffraction, termogravimetry and differential thermal analysis (TG/DTA), XR fluorescence (FRX), pH, moisture and laser granulometry. Some specific tests for clay quality were also performed. Sintered retangular bricks at 950°C were tested for compression strength and relative density. The results lead to assure the viability of sludge material addition for the manufacturing of ceramic bricks.

Keywords: Sludge. Ceramic brick. Conventional ceramic. Residues.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Armazenamento de Aparas de polímeros.....16

Figura 2 - Máquina de lavagem de polímeros da empresa em estudo.....17

Figura 3 - Processo de lavagem de aparas de polietileno.....18

Figura 4 - Filtro prensa.....18

Figura 5 - Leito de secagem do lodo.....18

Figura 6 - Amostras coletadas do leito de secagem.....19

Figura 7 - Cadeia produtiva de reciclagem de material plástica.....22

Figura 8 - Ciclo de vida de produtos.....25

Figura 9 - Fluxograma da pesquisa.....35

Figura 10 - Pesagem do lodo antes da estufagem.....37

Figura 11 - Secagem em estufa ventilada.....37

Figura 12 - Pesagem do material após estufagem.....38

Figura 13 - Amostras destorroadas e peneiradas.....38

Figura 14 - Pesagem de amostra de argila.....39

Figura 15 - Secagem de amostra de argila.....39

Figura 16 - Material classificado.....40

Figura 17 - Picnômetro Ultrapyc 1200e.....40

Figura 18 - Aparelho Casagrande..... 43

Figura 19 - Determinação do LP e IP..... 44

Figura 20 - Diagrama de comportamento de argila..... 45

Figura 21 -Teste da queda da bola..... 45

Figura 22 - Misturar o Lodo na argila..... 46

Figura 23- Acrescentar 20% de água em relação à quantidade de argila.....47

Figura 24 - Compactar o material dentro da forma de madeira..... 47

Figura 25 - Compactar o molde com o material junto a uma prensa..... 47

Figura 26 - Retirar o tijolo da forma..... 47

Figura 27 - Preparação dos corpos de provas..... 48

Figura 28 - Forno para queima..... 49

Figura 29 - Preparação das amostras conforme NBR 6460..... 50

Figura 30 - Preparação dos corpos de prova (argamassa)..... 50

Figura 31 - Ensaio de compressão..... 51

Figura 32 – TG/DTA do Lodo..... 56

Figura 33 – TG/DTA argila..... 57

Figura 34 - Análise de DRX do lodo..... 58

Figura 35 - Análise de DRX Argila..... 59

Figura 36 - Análise granulométrica a laser da argila.....60

Figura 37 - Análise granulométrica a laser do lodo..... 60

Figura 38 - Dilatometria de corpos de prova de argila pura e com incorporação de lodo 68

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Volume mensal do lodo em 2015.....19

Gráfico 2 - Participação dos polímeros no mercado nacional..... 19

Gráfico 3 - Distribuição de mão de obra por atividade econômica..... 29

Gráfico 4 – Perda ao fogo dos corpos de prova..... 62

Gráfico 5 - Retração linear dos tijolos em função do teor de lodo e argila.....66

Gráfico 6 – Resultado de resistência a compressão..... 67

TABELAS/QUADROS

Tabela 1 - Densidade da agua e dos polímeros estudados.....18

Quadro 1 - Componente químico e seus efeitos nas argilas..... 30

Tabela 2 - Setor de produtos de argila.....31

Tabela 3 - Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação..... 32

Tabela 4 – Os ensaios realizados na dissertação..... 36

Tabela 5 - Amostras para Dilatometria..... 52

Tabela 6 - Resultados segundo FRX.....53

Tabela 7 - Resultado de densidade por picnométria..... 54

Tabela 8 - Classificação dos solos em função dos índices de plasticidade.....62

Tabela 9 - Densidade hidrostática de tijolos 100% argila queimados em água destilada.....63

Tabela 10 - Densidade aparente antes sinterização com tijolos cerâmicos com 100% de argila.....63

Tabela 11 - Densidade aparente após sinterização com tijolos cerâmicos com 100%.....64

Tabela 12 - Densidade aparente antes sinterização com tijolos cerâmicos 10% de lodo.....64

Tabela 13 - Densidade aparente após sinterização com tijolos cerâmicos 10% de lodo.....65

Tabela 14 - Resultado do ensaio de compressão com tijolo com 0% lodo..... 66

Tabela 15 - Resultado do ensaio de compressão com tijolo com 10% lodo..... 67

Tabela 16 - Teores de elementos em tijolos queimado – FRX…..... 69

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURA

ANFACER: Associação nacional dos fabricantes de cerâmica para revestimentos, loucas sanitárias e congêneres.
ABNT: Associação brasileira de normas técnicas
ABIPLAST: Associação brasileira da indústria do plástico
ABRELPE: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais
CAGED: Cadastro geral de empregados e desempregados
CMMAD: Comissão mundial do meio ambiente
CETESB: Companhia ambiental do estado de São Paulo
DTA: Análise térmica diferencial
DRX: Difração de raios-X
DSC: Differencial scanning calorimetry
ETA: Estação de tratamento de água
ETE: Estação de tratamento de esgoto
ETAI: Estação de tratamento de água industrial
EPQI: Escola politécnica engenharia quimica
FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FRX: Fluorescência de raio X
IPEN: Instituto de pesquisa energético e nuclear
IP: Índice de plasticidade
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAREX: Laboratório de
LL: Limite de liquidez
LP: Limite plasticidade
Li: Comprimento Inicial
Lf: Comprimento final
Mpa: Mega Pascal
Mi: Massa inicial
Mf: Massa final
MTE: Ministério do Trabalho e Emprego
mm: milímetro
NEAS: Núcleo de estudo ambiental

NBR: Norma brasileira regulamentadora

PEBD: Polietileno de baixa densidade;

PEBDL: Polietileno de baixa densidade linear;

PEAD: Polietileno de Alta densidade

PF: Perda ao fogo

PIA: Pesquisa industrial anual

pH: Potencial hidrogeniônico

TG: Termogravimétrica

UD: Utensílio domestico

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural

UNISO: Universidade de Sorocaba

USP: Universidade de São Paulo

SEBRAE: Serviço Brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....13

2 OBJETIVOS 14

3 A EMPRESA E A ORIGEM DO OBJETO DE ESTUDO.....14

4 REVISÃO DA LITERATURA.....19

5 MATERIAIS E MÉTODOS.....35

6 RESULTADOS E DISCUSSÂO.....53

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....70

REFERÊNCIAS.....71

1 INTRODUÇÃO

Em 2014, a produção mundial de resinas termoplásticas atingiu 260 milhões de toneladas, sendo que o Brasil contribuiu com 6,3 milhões de toneladas, conforme dados de 2015 da Associação brasileira da indústria do plástico/Plastics Europe. Tal volume corresponde à cifra de R$ 69,07 bilhões de reais no mesmo período, conforme as fontes. Por outro dado, o Ministério de Meio Ambiente, cita que entre 500 bilhões e 1 trilhão de sacolas plásticas são consumidas em todo o mundo anualmente. “No Brasil, cerca de 1,5 milhão de sacolinhas são distribuídas por hora” (BRASIL, 2017).

Com base nestes dados de produção mundial de consumo apresentado, há grande preocupação com o resíduo gerado após uso deste volume, o que é relevante devido ao fato do plástico ser classificado como resíduo sólido onde a tempo de degradação dos seus produtos é longo.

Conforme Santos (2012) “têm-se os impactos negativos relacionados à vida útil curta e baixa degradabilidade das sacolas plásticas, podendo demorar de 100 a 400 anos para degradar-se no meio ambiente pela ação de raios ultravioletas, umidade e calor; efeito cumulativo; poluição visual devido à disposição nas ruas, parques, praças e ambientes turísticos; entupimentos das vias públicas”.

Por outro lado Zaneti (2003) “Os resíduos sólidos surgem como uma das mais sérias ameaças ao meio ambiente e consequentemente aos organismos que nele vivem”.

Com base nesta preocupação ambiental, surge a oportunidade para um novo ramo da indústria, ou seja, de reciclagem destes resíduos após consumo (reciclagem de plástico). Porém, em todo ramo novo, tem-se novos processos cuja a geração de resíduos deve ser analisada, acompanhada e direcionada ao destino final de forma correta, para reduzir o impacto ambiental.

Este estudo limita-se a abordar duas frentes de pesquisa. A primeira é a caracterização do resíduo industrial lodo que é gerado no processo de reciclagem mecânica, precisamente na lavagem dos plásticos, onde procura-se verificar a composição química e as propriedades físicas. A segunda parte da pesquisa aborda

alternativas de destinação deste resíduo industrial para reduzir o máximo possível o impacto ambiental. Para tanto isso procedeu-se a incorporação do material derivado do resíduo junto à argila (matéria prima do tijolo cerâmico) para produção de tijolos maciços, acompanhadas da caracterização através de ensaios físico-químicos e mecânicos. A metodologia busca verificar a viabilidade conforme as normas regulamentadoras para tijolos cerâmicos.

Espera-se que esta pesquisa possa contribuir para o direcionamento do destino final de resíduo em forma de lodo, diminuindo o impacto ambiental, aumentando a vida das jazidas de argila e possibilitando a inovação.

2 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo a caracterização físico-química de um resíduo originado da lavagem de aparas de polímeros de polietileno oriundos de processo de reciclagem de uma empresa da região de Sorocaba, além de estudar a viabilidade do emprego do material em adição à argila para confecção de tijolos comuns. Procura-se uma solução viável para a disposição final do resíduo aliada a uma utilização de baixo custo e bom desempenho. O estudo permitirá estabelecer os parâmetros e técnicas iniciais na direção da fabricação de tijolos ecológicos, sendo que tal tipo de resíduo incorporado na argila não foi ainda abordado pela literatura.

3 JUSTIFICATIVA

A empresa em questão é do segmento de Utensílios Domésticos (UD), estes produtos fabricados e comercializados são de valores agregados baixos (estratégia de custo baixo) onde a matéria-prima para estes produtos deve ter um baixo custo financeiro para manutenção da estratégia empresarial. Com base nisso, a empresa optou por verticalizar seus processos de fabricação onde agrega atualmente um setor de lavagem de aparas poliméricas adquiridas em cooperativas. Como consequência do processo de lavagem das aparas, há uma necessidade de manter uma estação de tratamento de água industrial (ETAI). O resíduo proveniente desta ETAI foi o material desta pesquisa.

Podem-se citar alguns produtos de baixo valor que são fabricados pela empresa:

- Saco de lixo em várias medidas e embalagens para fins gerais;

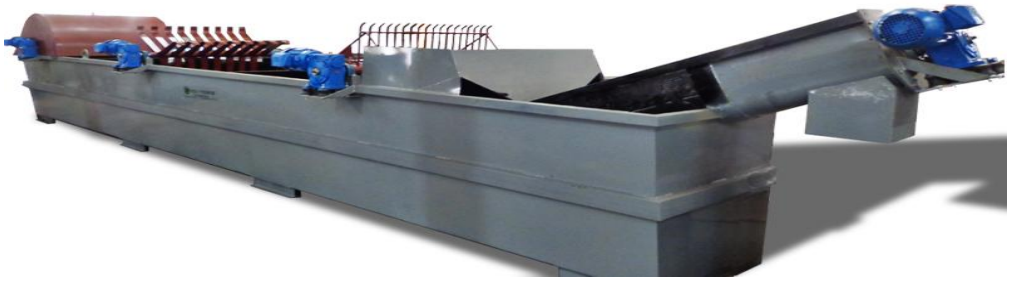
Tais produtos têm como matéria-prima básica os polímeros reciclados (pelete reciclado), como o PEBD, PEAD (polietilenos de baixa e alta densidade) e PELBD (polietileno linear de baixa densidade).

As matérias-primas recicladas são adquiridas em formato de aparas, ou seja, em fardos prensados com peso entre 350 kg à 500 kg, conforme mostra a fotografia da Figura 1. Os lotes adquiridos pela empresa são armazenados em um pátio, aguardando para serem processadas no equipamento de lavagem, objetivando a retirada de sujeira, areia, terra, óleos e outros resíduos para posterior corte e picotamento. A máquina da figura 2 realiza o processo descrito.

Figura 1 - Armazenamento de aparas de polímeros

Fonte: http://www.tupyaparas.com.br/index.php?p=gestao-de-residuos

Figura 2 - Máquina de lavagem de polímeros da empresa em estudo



Fonte: http://www.lessamaquinas.com.br/prod_detalhes.php?id_prod=19

Durante o processo de lavagem das aparas picotadas (plástico), todas as sujidades das aparas adquiridas são eliminadas (areia, barro, óleo e outros), sendo depositada no fundo da banheira do equipamento ilustrado na figura 2 juntamente com outros polímeros mais denso.

O processo de lavagem utiliza a densidade da água a 20°C como base (densidade aproximada água 1,0 g/cm³) para diferenciar o polietileno de baixa densidade (PEBD) e polietileno e alta densidade (PEAD). Dentre outros polímeros que estão juntos dos fardos. A massa específica do polietileno de baixa densidade conforme a Tabela 1 apresenta, permite que o processo de reciclagem se torne viável devido à flutuabilidade do polímero em água.

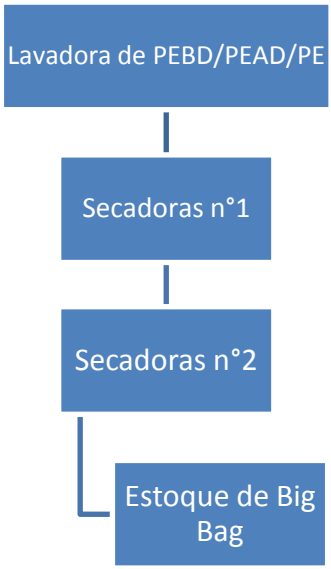
Tabela 1 - Densidade da agua e dos polímeros estudados

Itens	Agua	PEBD (LDPE)	PEAD (HDPE)	PEBDL
Densidade (g/cm³)	1	0,91-0,925	0,941-0,965	0,91–0,925

Fonte: Elaboração própria

Após o processo de lavagem, os materiais são direcionados mecanicamente para as secadoras (centrifugas) onde se realiza o processo de retirada do excesso de água e após completa secagem, sendo estocadas em Big Bag no final do processo. O fluxograma esquemático do processo é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Processo de lavagem de aparas de polietileno



Fonte: Elaboração própria

O processo de lavagem das aparas é acoplado a um sistema de estação de tratamento água industrial fechado que permite o reuso da agua por até seis meses. O reaproveitamento desta água é viabilizado por um processo de recuperação dotado de um filtro-prensa conforme Figura 4, onde toda água do equipamento (lavadora) é direcionada e filtrada pelo mecanismo, gerando um resíduo em forma sólida (Lodo). O leito de secagem resultante é mostrado na Figura 5.

Figura 4 - Filtro prensa

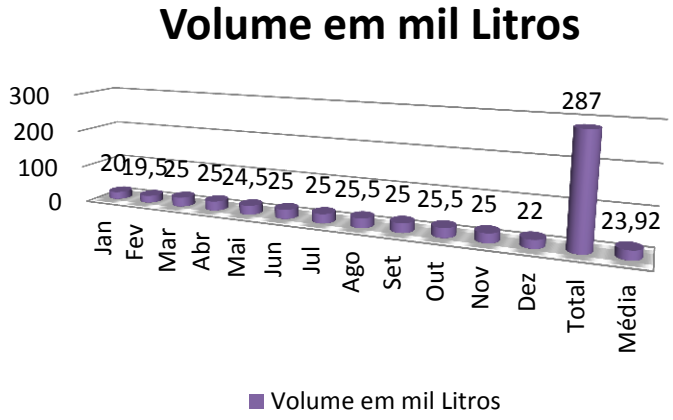
Fonte: http://www.grabe.com.br/flowpress630.php

Figura 5 - Leito de secagem do lodo

Fonte: Elaboração própria

A produção do resíduo gerado mensalmente gira em torno de 24.000 litros que, após seco, atinge peso de 8.000 kg. Entretanto, a falta de espaço físico na empresa (leito de secagem) gera uma séria restrição. O Gráfico 1 compila a distribuição de volume de lodo gerado em 2015 enquanto que a Figura 6 mostra as amostras de lodo coletadas no leito de secagem.

Gráfico 1 - Volume mensal do lodo em 2015



Fonte: Elaboração própria

Figura 6 -. Amostras coletadas do leito de secagem

Fonte: Elaboração própria

A princípio o lodo se encontra no leito de secagem com muita umidade e volume elevado, ocupando uma área de cerca de 100 m², dependendo do volume de produção do equipamento durante o mês.

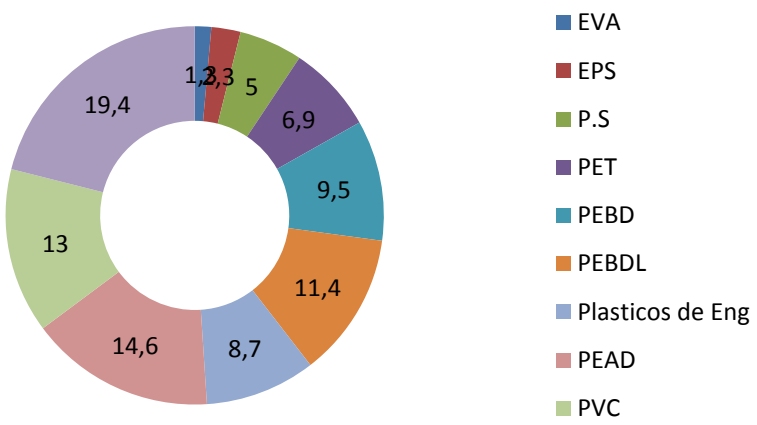
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ciclo de reciclagem de polímeros

Conforme dados da ABIPLAST de 2015, a produção mundial de resinas termoplásticas foi de 260 milhões de toneladas (dados de 2015), sendo que o Brasil é responsável por 6,3 milhões de toneladas ou 2,4% de toda a produção mundial. Atualmente, o Brasil é o País da América Latina com maior participação na produção e consumo de plásticos, cujo consumo per capita de plástico gira em torno de 35 kg/hab. Porém, comparado ao consumo de países desenvolvidos (cerca de 100kg/habitante), esse valor é modesto, ainda segundo estudo da ABIPLAST.

Considerando a produção brasileira de 6,5 milhões de toneladas, o Gráfico 2 descreve o consumo e participação de cada tipo de resina no mercado nacional.

Gráfico 2 - Participação dos polímeros no mercado nacional (%).



Fonte: IBGE, 2013 PIA produto.

Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/site/estatisticas> Acesso em 18 out 2016.

Um dos processos termomecânicos para processamento de polímeros é a extrusão, responsável por processar 62,8% ou 1,38 milhões de toneladas produzidas no Brasil. Dentro desde volume se destaca a extrusão de filmes com 39,3% ou 0,545 mil toneladas de filme de PEBD, PEAD e PEBDL conforme dados da ABIPLAST 2015.

A somatória do volume apresentado no gráfico entre PEBD, PEAD e PEBDL é 34% sendo responsável por 2,21 milhões de toneladas de polímeros. Esse montante origina uma considerável geração de resíduos após consumo e dá razão a um mercado direcionado para reciclagem. Diante desta posição de destaque, o resíduo gerado cria um mercado onde o plástico descartado é recolhido e transformado em novos produtos pelas indústrias. Surge, assim, uma grande motivação das indústrias em adquirir material reciclável para produzir novos bens. Essa aquisição pode ser realizada entre as cooperativas de reciclagem.

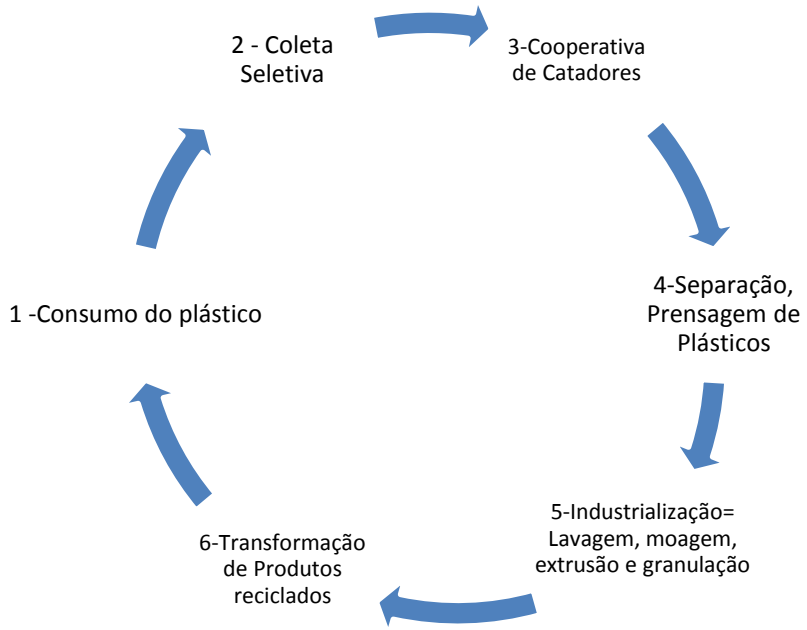
Conforme a ABIPLAST (2015), é retirada do meio ambiente cerca de 805 mil toneladas de resíduos após consumo no Brasil, que dão origem a quase 725 mil toneladas de materiais plásticos reciclados**.**

A cadeia produtiva de reciclagem de plástico apresenta seis (6) etapas enumeradas na sequência abaixo e ilustrada na Figura 8:

1. Consumo do Plástico;
2. Coleta Seletiva;
3. Cooperativas de Catadores;
4. Separação e Prensagem;
5. Industrialização: Lavagem, Moagem, Extrusão e Granulação;
6. Transformação dos produtos reciclados.

A empresa que fornece o material em estudo opera a partir da 5° fase deste ciclo, ou seja, lavagem dos plásticos, moagem, aglutinação, extrusão de pellets e extrusão de filmes.

Figura 7 - Cadeia produtiva de reciclagem de material plástica



Fonte: Elaboração própria

A reciclagem como política de sustentabilidade

O processo de reciclagem faz parte de uma política de sustentabilidade conforme menciona o ministério do meio ambiente, onde temos os seguintes 5R's:

- *Reduzir;*
- *Repensar;*
- *Reaproveitar;*
- *Reciclar;*
- *Recusar consumir produtos que gerem impactos socioambientais significativo;*

O foco principal da reciclagem é de transformar parte das matérias usadas em produtos novos que agregam valor à sociedade. A reciclagem é definida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como o:

> [...] conjunto de atividades e práticas pelos quais os resíduos são coletados, separados e submetidos ao processo de transformação para serem utilizados como matérias-primas na manufatura de bens.

O assunto sustentabilidade vem crescendo dentro do meio acadêmico e industrial em função das mudanças climáticas de nosso planeta e a necessidade de mudança nos hábitos da população. Ou seja, criar bases para garantir a sobrevivência do planeta e dentro deste contexto Gore (2006) destaca que: “finalmente se reconhece o preço de fatores como o meio ambiente, o impacto sobre as comunidades e a longevidade dos funcionários, o que pode significar uma visão mais ampla de sustentar a lucratividade da empresa ao longo do tempo”.

O significado de sustentabilidade de maneira geral tenta atingir a viabilidade econômica com responsabilidade social, com foco em ecologia e justiça social. Estas três linhas são conhecidas mundialmente como Triple Bottom Line. **FONTE**

Para o tratamento do assunto sustentabilidade deve destacar dois aspectos importantes nos dias de hoje: primeiro, a questão ambiental, segundo, a questão econômica. Sobre este último ponto, deve-se mencionar o que tange à questão da viabilidade econômica da sustentabilidade, sendo um tópico importante no Brasil nos dias atuais em função da crise que o País atravessa em um momento histórico.

O termo desenvolvimento sustentável surgiu pela primeira vez em 1980 e foi consagrado em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Comissão Brundtland, que produziu um relatório considerado básico para a definição desta noção e dos princípios que lhe dão fundamento (Comissão mundial do meio ambiente, 1991, p.46).

De acordo com o Relatório Brundtland:

> [...] desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforça o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações futuras [...] é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades (Comissão mundial do meio ambiente, 1991, p.46).

Como esclarece SILVA apaud Salvador (2006), o conceito de sustentabilidade formulado em nosso futuro comum coloca questões novas em relação à problemática socioambiental. Não se pode deixar de associar a sustentabilidade com as questões sociais da nossa região e Pais.

A sustentabilidade possui, no início das primeiras discussões, duas vertentes científicas: ecologia e economia. Como esclarece Veiga (2010), em sua conclusão, a sustentabilidade exigirá necessariamente uma trinca de indicadores, pois é estatisticamente impensável fundir em um mesmo índice apenas duas de suas três dimensões. A sustentabilidade além de ser vista com um olhar ambiental, com foco nos recursos naturais, tem que ter o pensamento voltado para a viabilidade econômica em seus projetos.

O Brasil é considerado um País onde o empreendedorismo nasce por necessidade e não por oportunidade, como é na maioria do Planeta. “Estima-se, portanto, que em 2015, 52 milhões de brasileiros com idade entre 18 e 64 anos estavam envolvidos na criação ou manutenção de algum negócio, na condição de empreendedor em estágio inicial ou estabelecido”. (SEBRAE, 2015).

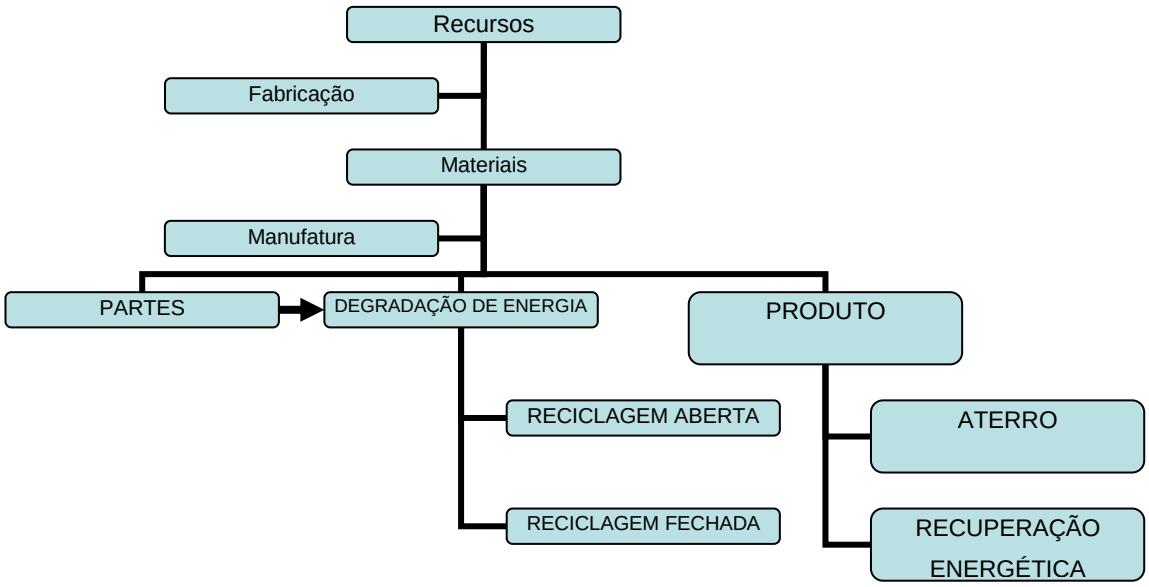
Como esclarece Barbieri (2007), os empresários e administradores devem passar a considerar o fator meio ambiente no momento de suas tomadas de decisões, e adotar concepções administrativas e tecnológicas que contribuam para ampliar a capacidade de suporte do planeta.

Nesse cenário, o trabalho se insere no sentido de contribuir com a sustentabilidade pela reciclagem de resíduos com aproveitamento comercial e redução de danos ambientais.

Resíduos

Em todo processo de manufatura (produção de bens) a questão ambiental está ligada aos resíduos gerados de forma direta e indireta, desde o início do processo até o seu final. Todo resíduo necessita de um tratamento especifico em função das características físico-químico e um destino final. A Figura 9 mostra uma rota esquemática que ilustra, de modo geral, o ciclo de vida de produtos e com isso como são gerados os resíduos.

Figura 8 - Ciclo de vida de produtos



Fonte: Adaptado de Ugaya (2001)

Embasado neste aspecto ambiental as empresas enxergam os procedimentos de tratamento como estação de tratamento de água e efluentes (ETA e ETE) como custos adicionais aos processos, ainda mais quando as margens de lucro estão cada vez mais comprometidas de um ano para outro em função da concorrência acirrada e da alta tributação que o governo impõe.

Os resíduos gerados em operações produtivas são bastante variados, podendo ser compostos por cinza, lodo, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plástico, papel, madeira, fibras, borracha, metais, escórias, vidro, cerâmica e outros (NAUMOFF; PERES, 2000 p.45). Conforme comenta Demajorovic (1995), o termo lixo tem sido substituído por resíduo sólido, face ao caráter de inutilidade total que o primeiro nome sugere. Para Lima (1995), dentre os fatores que influenciam a origem e formação do lixo (ou resíduo sólido) encontram-se: as variações sazonais, o

número de habitantes do local, o nível educacional, os tipos de equipamentos de coleta, as condições climáticas e as atividades industriais.

Os resíduos podem ser classificados da seguinte forma: sólido, líquido, gasoso e pastoso, mas, considerando o critério de origem e produção, é possível classificá-los como: residencial, comercial, hospitalar, especial (animais mortos, veículos abandonados, descargas clandestinas etc.), industrial e outros. Conforme define Lima (1995) “o lixo industrial é todo e qualquer resíduo resultante de atividades industriais”, apresentando-os dentro de quatro categorias de classificação conforme CETESBE, 1981.

Categoria 1: Incluem-se nesta categoria os resíduos considerados perigosos, ou seja, que requerem cuidados especiais quanto à coleta, acondicionamento, transporte e destino final, pois apresentam substancial periculosidade, real ou potencial, à saúde humana ou aos organismos vivos, e se caracterizam pela letalidade, não degradabilidade e pelos efeitos acumulativos adversos. ·

Categoria 2: Incluem-se nesta categoria os resíduos potencialmente biodegradáveis e/ou combustíveis. ·

Categoria 3: Incluem-se nesta categoria os resíduos considerados inertes e incombustíveis. ·

Categoria 4: Incluem-se nesta categoria os resíduos constituídos por uma mistura variável e heterogênea de substâncias que individualmente poderiam ser classificadas nas categorias 2 ou 3.

Conforme Ministério do meio ambiente(MMA), a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define as seguintes categorias de resíduos sólidos para fins de gestão e gerenciamento:

> **1.** Resíduos urbanos: os provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, da varrição, de podas e da limpeza de vias, logradouros públicos e sistemas de drenagem urbana passíveis de contratação ou delegação a particular, nos termos de lei municipal;
>
> **2.** Resíduos industriais: os provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração e extração, de montagem e manipulação de produtos acabados e aqueles gerados em áreas de utilidade, apoio,

> depósito e de administração das indústrias e similares, inclusive resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Água - ETAs e Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs;
>
> **3.** Resíduos de serviços de saúde: os provenientes de qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal; os provenientes de centros de pesquisa, desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde; medicamentos e imunoterápicos vencidos ou deteriorados; os provenientes de necrotérios, funerárias e serviços de medicina legal; e os provenientes de barreiras sanitárias;
>
> **4.** Resíduos de atividades rurais: os provenientes da atividade agropecuária, inclusive os resíduos dos insumos utilizados;
>
> **5.** Resíduos provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, postos de fronteira e estruturas similares: os resíduos sólidos de qualquer natureza, provenientes de embarcação, aeronave ou meios de transporte terrestre, incluindo os produzidos nas atividades de operação e manutenção, os associados às cargas e aqueles gerados nas instalações físicas ou áreas desses locais;
>
> **6.** Resíduos da construção civil: os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, compensados, forros e argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações e fios elétricos, comumente denominados entulhos de obras, caliça ou metralha

Entre as questões referentes ao resíduo podemos destacar o chamado “lodo Industrial”, proveniente dos processos de manufatura que possuem um valor agregado em função dos processos. Estes lodos são gerados nos processos do setor de produção das indústrias, equipamentos e também por produtos químicos utilizados na manufatura (reagentes, pigmentos, descontaminantes e outros) para alcançar o objetivo final (produto acabado). A Lei 12.305 federal de 2010 em seu artigo 13 item I, subitem f, define resíduos industriais como: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais. (BRASIL, 2010)

No processo industrial podemos ter resíduos sólidos perigosos, não-Inertes ou inertes, o que recomenda atenção nos setores operacional e de meio ambiente da indústria a fim de evitar a mistura desses resíduos durante as atividades de acondicionamento (forma de armazenar), coleta, tratamento e destino final. Conforme NBR 10007 (2004), a decisão para onde e como destinar um resíduo sólido depende de fatores como a análise da composição química, percentual de metais pesados, contaminantes (toxicidade, reatividade, patogenicidade,

corrosividade, inflamabilidade) e do estado físico do mesmo ao ser gerado no processo de manufatura.

Como esclarece Zulauf, (2000):

> "A disposição final de resíduos sólidos, aí incluídos os resíduos das atividades domésticas, urbanas, rurais, comerciais, industriais e de serviços de saúde, com características sólidas, pastosas ou mesmo líquidas quando tóxicas é, em conjunto com o problema dos esgotos, o maior problema ambiental urbano não resolvido no país e, pode-se generalizar, em grande parte do mundo"

Diante deste cenário desafiador, as empresas buscam novas formas e técnicas inovadoras para resolver esta situação no que se refere ao lodo industrial gerado em seus processos e aos custos provenientes para o seu destino final. Infelizmente, mesmo realizando melhorias nos processos geradores destes resíduos, a redução da geração chega até uma condição técnica limite, onde não se reduz mais, esbarrando na questão tecnológica dos processos.

Conforme esclarece Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais (ABRELPE, 2012) dentro dos resíduos sólidos gerados no Brasil, os polímeros representam 13,50%, correspondendo a 7.635.851 t/ano gerado em 2012 no Brasil.

Estratégia Empresarial

Em toda empresa, existe a necessidade de uma estratégia empresarial, o que se dá também na empresa em estudo. Desde a sua criação, a empresa segue estratégias de mercado orientadas para uma classe social de poder aquisitivo mais baixo. Com o passar do tempo, a empresa foi obrigada a se adequar a normativas e regulamentações ambientais Companhia Ambiental do estado de São Paulo (CEETESB) para que seus processos industriais fossem mantidos e não fosse penalizada com multas ambientais dos órgãos regulamentadores do estado. Em toda adequação às normas e regulamentação da CETEBS, é necessária uma

estratégia de investimento para não perder o foco da estratégia principal da empresa.

Existem inúmeras oportunidades, em muitos casos, não compreendidas, observadas e tratadas de forma objetiva pelos empresários. Com isso os resíduos estão inseridos como um custo operacional no contexto de gestão do modelo de negócio/estratégico. Para que retornos sustentados ocorram de forma organizada deve-se montar uma estratégia. “A estratégia é a busca deliberada de um plano de ação para desenvolver e ajustar a vantagem competitiva de uma empresa” (PORTER, 1998, p.5)

Conforme analisa Ansoff (1991):

> A estratégia é quando você fica sem munição, mas continua atirando para que o inimigo não descubra. A estratégia é como um jogo de batalha: nele temos ações ofensivas e defensivas em um determinado momento para não perder as batalhas. No mundo dos negócios este jogo é vivido todos os dias, todas as horas.

Conforme esclarece Hamel (1995), Uma estratégia competitiva necessita dê um conjunto de: planos, políticas, programas e ações desenvolvidos por uma empresa ou unidade de negócios com o intuito de ampliar ou manter, de modo sustentável, suas vantagens competitivas frente aos concorrentes.

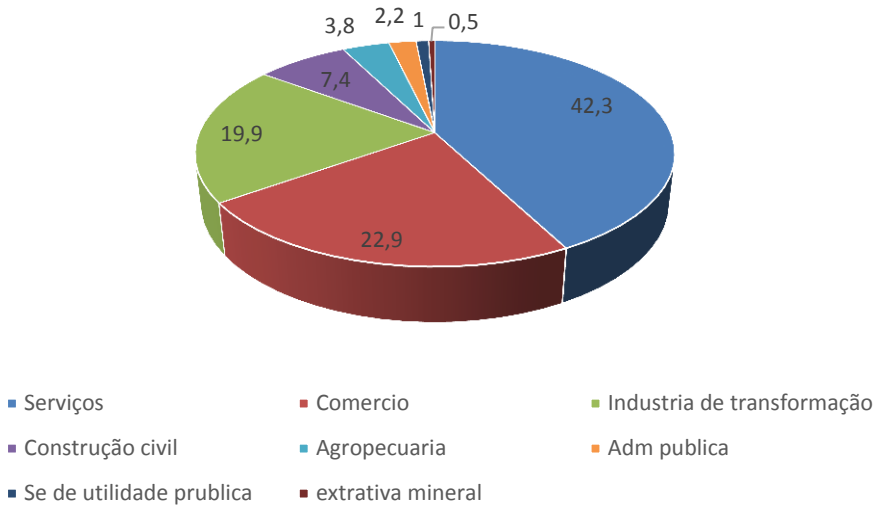
O presente trabalho procura aumentar o conhecimento das características do resíduo gerado pela empresa em questão e oferecer alternativas estratégicas para solucionar os problemas de adequação às normas ambientais.

A indústria extrativa mineral no Brasil

A indústria extrativa mineral é um dos setores econômicos importante para o Brasil, no que se refere ao crescimento econômico em função da extensão territorial.

A atividade econômica da indústria extrativa mineral representava em 2014 um valor de 0,5% do montante de trabalhadores no Brasil. O ramo da extração da argila representa 4% do setor de extração mineral, totalizando 73.631 trabalhadores (Gráfico 3) (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2016).

Gráfico 3 - Distribuição de mão de obra por atividade econômica (dez/2014)



Fonte: MTE/CAGED

A produção interna de argila seca moída totalizou 49.775 ton em 2014, sendo que o estado de São Paulo corresponde a 8,1% desta produção.

O perfil físico-químico da argila

Por outro lado Santos (1992 apud WATANABE, 2014, p.3),afirma que a argila é considerada matéria-prima natural com granulometria inferior a 2μm, apresentando comportamento plástico quando umedecida. Quando aquecida, a argila consolida com a perda de água e endurece em função do tempo.

Conforme Ambrozewicz (2012 apud WATANABE, 2014, p. 3), as argilas podem ser classificadas como gordas ou magras, dependendo da quantidade de colóides.

Os componentes químicos das argilas têm influência direta na resistência, plasticidade e porosidade, conforme apresentado na Tabela 2.

Conforme esclarece Macedo et al. (2008), em geral, as argilas são materiais muito heterogêneos, cujas características dependem da sua formação geológica e da localização da extração.

Conforme MELO,2010 A montmorilonita com formula geral $Mx(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$ e partículas no formato de placas ou lamelas.

Segundo Hasse (2006), o perfil fundamental da argila é a sua plasticidade, o que permite a elaboração de um número elevado de formas pela utilização de equipamentos com baixo grau de complexidade e sofisticação.

Quadro 1 - Componente químico e seus efeitos nas argilas

Componente Químico	Efeitos
SiO_2	Reduz a plasticidade e o trincamento; diminui a retração e facilita a secagem; diminui a resistência mecânica, no entanto, o pouco que funde no cozimento gera o vidrado endurecedor.
Fe_2O_3	Encontra- se nas rochas ígneas, mistura- se geralmente com a caulinita, dando a coloração vermelha ou amarelada; reduz a propriedade refratária.
Álcalis	Baixam o tempo de fusão e geram porosidade; facilita a secagem e o cozimento, mas reduz a plasticidade.
CaO	Age como fundente e clareia a cerâmica.
Matéria orgânica	Aumenta a plasticidade e porosidade.
H_2O	Água de constituição- faz parte da estrutura da molécula;
	Água de plasticidade- adere à superfície das partículas coloidais;
	Água de capilaridade- preenche os poros e vazios.

Fonte: Adaptado de Verçosa (1994)

A Indústria Cerâmica

Conforme esclarece Motta (2001), os grupos cerâmicos podem ser classificados com base no emprego dos seus produtos, natureza de seus constituintes, características texturais do biscoito (massa base), além de outras características cerâmicas ou técnico-econômicas.

Dados divulgados pela Associação Nacional da indústria da cerâmica (ANICER) apresenta o seguinte quadro do setor:

- Cerca de 293 mil trabalhadores diretamente e 900 mil trabalhadores indiretos;
- Cerca de 6.903 empresas no Brasil;

- A indústria cerâmica vermelha corresponde por 4,8% da construção civil;

A produção de blocos, tijolos, telhas e tubos, apresenta dados conforme IBGE 2008 (Tabela 2):

Tabela 2 - Setor de produtos de argila.

	N° Empresas Aproximado	Participação do setor (%)	Prod./mês (Nº de peças)	Consumo-ton/mês (matéria-prima: argila)
Blocos/Tijolos	4346	63	4.000.000.000	7.800.000
Telhas	2547	36	1.300.000.000	2.500.000
Tubos	10	0,10	325,5 km²	-

Disponível em:<http:// www.anicer.com.br> acesso em 18/12/2012). *Produção apontada pela Associação Latino-Americana de Fabricantes de Tubos Cerâmicos (Acertubos), considerando o número de 10 empresas, responsáveis pela fabricação de 3.906km/ano.

Fonte: IBGE 2008 para Seção C, Divisão 23, Grupo 234, Classe 2342-7, Fabricação de Produtos Cerâmicos Não-Refratários para Uso Estrutural na Construção, excluídas as palavras pisos e azulejos da razão social apud em ANICER

Conforme cita Associação nacional dos fabricantes de cerâmica para revestimento, louças sanitárias e congêneres (ANFACER) em 2015 apresentou que a produção do setor foi de 899,4 milhões de metros quadrados para uma capacidade instalada de 1.069 milhões de metros quadrados. No tocante ao mercado consumidor, destaca-se a cerâmica vermelha pelo consumo da ordem de 70 milhões de toneladas por ano, através de 11.000 empresas, a maioria de pequeno porte, distribuídas pelo país, sobressaindo-se os estados de SP, MG, RJ, RS, PR, SC e BA como os principais produtores. As vendas totais de revestimentos cerâmicos devem crescer 1,45% neste ano, conforme projeção da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres.

A tabela 3 apresenta os principais setores cerâmicos conforme o perfil das principais industrias e seus produtos.

Tabela 3 - Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.

Classificação			Produto	Matéria-prima										Moagem via úmida	Moagem via seca	Processo de				Temperatura de Queima (C)					
							Não -Plástica																		
Tipo de	Grupo**/ Setor			Argila	Argila	Caulim	Feldspato	Filito	Talco	Calcário	Quartzo	Outros			Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	> 1.200
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lages	P											P									
			Telha	P				O							P		P							
			Agregado leve	P								O			P									
	2	Cerâmica Branca	Grês Sanitário		P	S	P		O		S	O	P											
			Porcelana Mesa		P		P				P		P		S	S		O						
			Porcelana Eletr.		P		P				P		P		S	S		O						
			Faiança		P	O	S	S	S	P	S		P					P						
	3	Revesti-mentos	Pisos Rústicos	P								O			P									
			Pisos via Seca	P										P			P							
			Azulejo		P	P			O	S	S		P				P							
			Piso Gresificado	O	P	S	S	P	O		S		P		O		P							
			Grês Porcelânico		P	S	P		O		S	O	P				P							
Outros	4	Refratários				O					O	P												
	5	Isolantes					O				O	P												
	6	Especiais									O	P												
	7	Cimento		S						P	S	O		P										
	8	Vidro								S	P	P												
P = Processo ou composição principal (> 20 %)				S = Processo ou composição segundária (< 10%)											O = Processo ou composição ocasional									

Nota: (*) e (**) Classificação de Schuller & Henniche; (***) O feldspato (ou concentrado de feldspato) é usado apenas nas porcelanas e, eventualmente, no grês porcelânico, enquanto que nos demais produtos são utilizadas rochas feldspáticas.
Fonte: MOTTA, José Francisco Marciano; ZANARDO, Antenor; CABRAL JÚNIOR, Marsis. As matérias-primas cerâmicas: parte I – o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v.6, n.2, mar./abr., 2001.p.5

O segmento da construção civil foi muito importante para o crescimento do PIB do Brasil, em 2016 o segmento empregou 13 milhões de trabalhadores formais, informais e indiretos. Mesmo com a crise instalada no Brasil desde 2015, ainda é um segmento que emprega muitos trabalhadores. Conforme IBGE/CBIC 2014, a participação percentual no valor adicionado bruto, segundo as atividades industriais a construção civil, remonta a 6,6% do total de 24%.

A indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na reciclagem de resíduos industriais e urbanos, em virtude de possuir elevado volume de produção, o que p006Fssibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos.

“Esse volume de consumo, aliado às características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico, faz da indústria cerâmica uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos” (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002)

Vários estudos apresentam que o setor da construção civil poderá ajudar na destinação de vários resíduos industriais, destaque estes sejam compatíveis com as propriedades físico-químicos e atendam as normas vigentes estabelecidas no Brasil.

Conforme esclarece Araújo (2008), as possibilidades da indústria cerâmica em aceitar novos materiais em sua composição como componentes na matéria-prima é uma das alternativas promissoras de disposição correta de resíduos na incorporação em materiais cerâmicos.

Existe um campo muito promissor para pesquisas de incorporação de resíduos em argila vermelha, sendo uma possível saída para a redução dos impactos ambientais no Brasil.

Processo de incorporação do resíduo

Dentre as várias formas para o destino dos resíduos sólidos, está a incorporação/estabilização em outros materiais de certa estabilidade. O processo consiste em incorporar resíduos dentro de uma matriz sólida de boa integridade estrutural, como em tijolos cerâmicos maciços e estruturais.

A argila se destaca como uma matriz sólida devido principalmente as suas características tais como:

- Boa resistência mecânica após a queima;
- Possuir características plásticas que permitem a conformação.

Outra vantagem da incorporação do resíduo em corpos argilosos, é a produção de novos produtos com apelo ecológico e com baixo custo com possibilidade serem utilizados na construção civil.

A utilização da argila como matriz para a incorporação no tratamento de resíduos passou a ser investigada a partir da constatação de que os processos clássicos à base de cimento e cal não eram eficientes no tratamento de resíduos com alto teor de materiais orgânicos (VIEIRA et al., 2007).

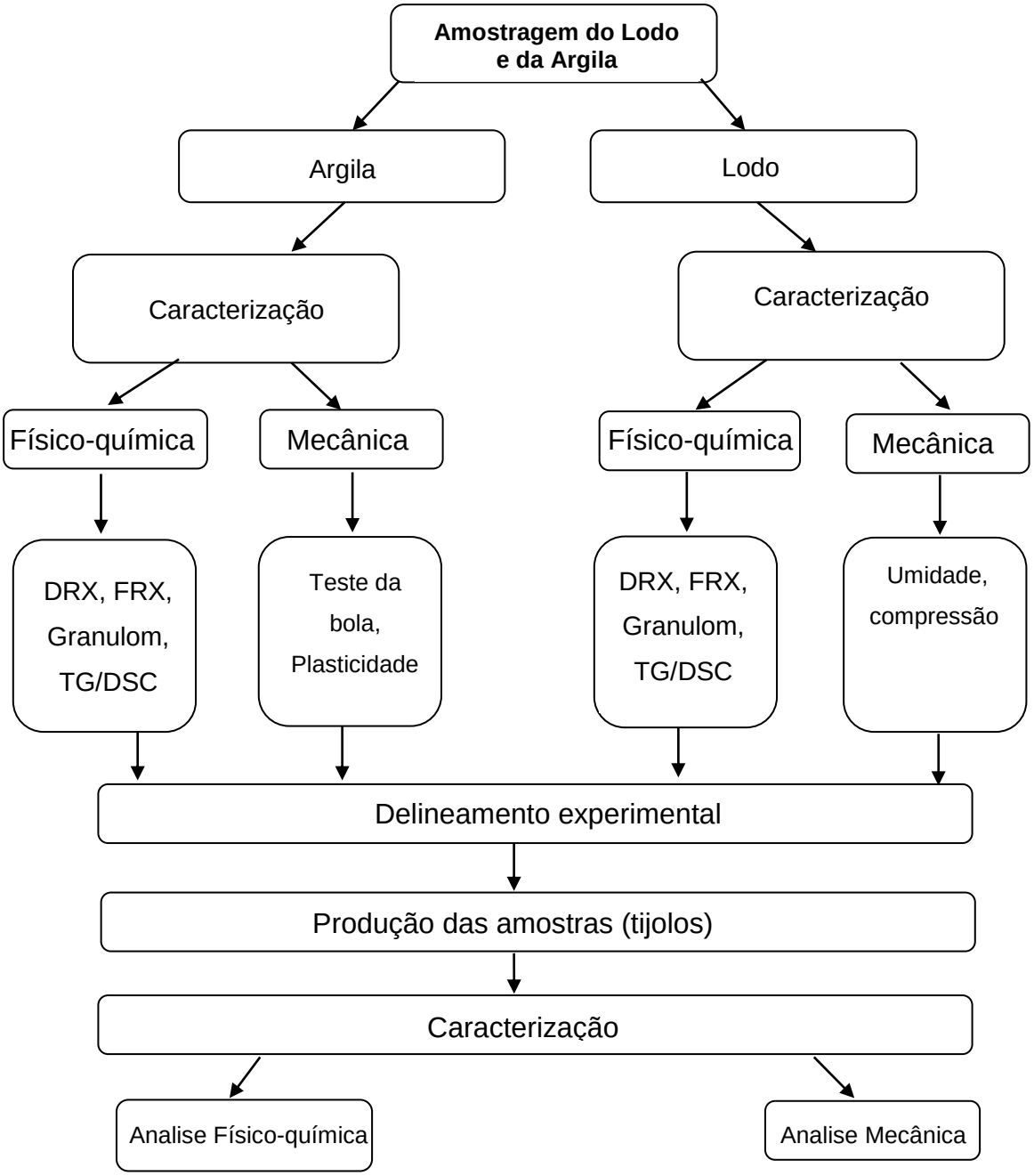
A norma NBR 12721:2005 item 8.3.2 - tabela 4 menciona que “Uma casa com projeto padrão residencial – baixo de 58,64 m² utiliza em média 5.040 tijolos estruturais de 8 furos 9 cm x 19 cm x 19 cm, totalizando uma massa de 11.088 kg de argila. Com a incorporação de lodo junto a argila, haverá a possibilidade de 10% em peso de economia, correspondendo a 1.108 kg de argila por casa tipo R1-B construída no Brasil.

Esta incorporação poderá prolongar o tempo de vida das jazidas de argila e, ao mesmo tempo, contribuir com o meio ambiente.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma de pesquisa da Figura 10 permite visualizar a metodologia e atividades cumpridas durante o trabalho.

Figura 9 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Elaboração própria

Para a obtenção deste Tijolo Ecológico, os experimentos/ensaios foram divididos em três partes conforme abaixo:

- Experimentos/ensaios com o lodo;
- Experimentos/ensaios com a argila e tijolos de argila;
- Experimentos/ensaios com tijolos argila+lodo.

A Tabela 4 detalha os ensaios realizados em cada material.

Tabela 4 – Os ensaios realizados na dissertação

Caracterização Lodo	**Caracterização Argila e Tijolos**	**Caracterização Tijolos Argila + Lodo**
Umidade	Umidade	-
Densidade	Densidade	Densidade
pH	pH	Ph
TG/DTA	TG/DTA	TG/DTA
FRX	FRX	FRX
DRX	DRX	DRX
Granulometria laser		Granulometria laser
	Limite de liquidez	
	Limite de Plasticidade	
	Queda da bola	
Picnometria	Retração Linear	Retração Linear
	Perda ao fogo	Perda ao Fogo
Compressão	Compressão	Compressão
Densidade hidrostática	Densidade hidrostática	Densidade hidrostática
Densidade aparente	Densidade aparente	Densidade aparente
Dilatometria	Dilatometria	Dilatometria

Fonte: Elaboração própria

Amostragem do lodo

O lodo utilizado nesta dissertação foi amostrado conforme a ABNT NBR 10.007/04 item 4.2.5 para a realização da coleta das amostras do lodo em leitos de secagem, lagoas secas e solos contaminados da ETA como ilustrado na Figura 11.

Depois da retirada das amostras da ETA, as mesmas foram distribuídas em bandejas (Figura 11) onde foram pesadas utilizando uma balança digital com capacidade de 15 kg divisão de 5g. Após a pesagem, as amostras foram carregadas em estufa a 60°C por 48h, conforme pode se observar na Figura 12.

Figura 10 - Pesagem do lodo antes da estufagem

Fonte: Elaboração própria

Figura 11 – Secagem em estufa ventilada

Fonte: Elaboração própria

Umidade do Lodo

O lodo foi seco em estufa de circulação/renovação de ar em temperatura de 60°C durante 48 h. Ao final das 48 h de estufagem, as amostras foram pesadas na mesma balança e destorroadas manualmente conforme indica a Figura 12. As variações de massa foram registradas para cada lote.

Figura 12 - Pesagem do material após estufagem.

Fonte: Elaboração própria

As amostras foram desagregadas em peneiras em 600 micros (mesh 28) para facilitar a homogeneização e análise de experimentos/ensaios com a Argila (Figura 13).

Figura 13 – Amostras destorroadas e peneiradas

Fonte: Elaboração própria

Umidade da Argila

A umidade da argila foi medida através do seguinte procedimento:

A argila foi amostrada no processo de laminação. As amostras foram pesadas inicialmente utilizando uma balança analítica com calibração automática modelo BEL engineering Mark 210 A (Figura 14)

Figura 14 - Pesagem de amostra de argila

Fonte: Elaboração própria

Após a pesagem a argila foi encaminhada para estufa modelo ODONTOBRAS EL MAX localizada no NEAS (Figura 15). As massas foram registradas na balança após 24 horas de secagem 100°C. .

Figura 15 – Secagem de amostra de argila

Fonte: Elaboração própria

Condicionamento da argila

Para esta dissertação, a argila adquirida foi previamente processada por extrusão do material em equipamento conhecido como maromba antes de ser condicionada. O material em forma de bloco foi transportado para o Núcleo de Estudos Ambientais (NEAS) da Universidade de Sorocaba (UNISO). A argila foi seca em estufa a 100°C durante 24h, destroçadas e peneiradas em malha 600 µm (mesh 28) gerando um material homogêneo ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Material classificado

Fonte: Elaboração própria

Densidade do lodo

Uma amostra do lodo seca à 60°C na estufa por 48 h, foi encaminhada para NEAS a fim de realizar o ensaio da densidade no aparelho picnômetro de hélio Ultrapyc 1200e (Figura 17). A densidade assim obtida se aproxima da densidade teórica das partículas constituintes, a menos de alguma porosidade interna fechada.

Figura 17 - Picnômetro Ultrapyc 1200e

Fonte: Elaboração própria

Densidade da Argila

Uma amostra de argila foi seca à 60°C na estufa por 24 h e encaminhada ao NEAS a fim de realizar o ensaio da densidade no aparelho picnômetro de hélio Ultrapyc 1200e. A densidade assim obtida se aproxima da densidade teórica das partículas constituintes, a menos de alguma porosidade interna fechada.

Densidade do Lodo + Argila

Uma amostra do lodo + argila foi seca à 60°C na estufa por 24 h e encaminhada ao NEAS a fim de realizar o ensaio da densidade no aparelho picnômetro de hélio Ultrapyc 1200e. A densidade assim obtida se aproxima da densidade teórica das partículas constituintes, a menos de alguma porosidade interna fechada

A massa específica das partículas de argila foi mensurada através do aparelho de picnométria, onde a massa utilizada foi de 0,7998 g

pH do lodo

Uma amostra do lodo foi preparada conforme o manual de métodos de análise de solo Embrapa para o ensaio de pH, utilizando equipamento com a descrição de potenciômetro com eletrodo combinado. Foram registrados tanto o pH como a temperatura do lodo.

pH da argila

Uma amostra de argila foi preparada conforme o manual de métodos de análise de solo Embrapa para o ensaio de pH, utilizando equipamento com a descrição de potenciômetro com eletrodo combinado. Foram registrados tanto o pH como a temperatura do lodo.

pH (Lodo 5% + Argila 95%)

O mesmo método foi utilizado para uma mistura de 5% de lodo em argila.

TG/DTA

Os ensaios de TG/DTA foram realizados no laboratório do Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares (IPEN), em amostras retiradas da argila, lodo e da mistura entre argila e lodo. O objetivo do ensaio é verificar a perda de massa, de secagem e de queima, através de análise termogravimétrica, de 25°C a 1200°C com taxa de aquecimento de 10°C/min. A análise simultânea de DSC permite estimar algumas reações de combustão e transformação de fase. O equipamento utilizado foi da marca Setaram modelo Labsys 1600 (TG/DTA 1600°C).

Fluorescência de Raios X

A análise química por espectrometria de fluorescência de raios X é indicada para a determinação da composição de matérias-primas em termos de elementos químicos. O equipamento empregado foi gentilmente cedido pelo laboratório LAREX da EPQI da USP: Varian / Cary Eclipse. Foram realizadas análises em 3 amostragens de lodo e uma amostra do tijolos queimados de argila 100% e de argila com 10% lodo.

Difração de Raios-X

Os ensaios de Difração de Raios-X (DRX), foram realizados no laboratório do Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares (IPEN) em amostras de argilas 100% e lodo e da mistura de argila e lodo (10%) que passaram pela peneira de 600 microns. O equipamento utilizado é da marca Bruker D8 Advance, operando com tubo de cobre em 40kV e 30mA, com passo de 0,04° a cada 2 seg, faixa 5 a 95°. O objetivo da difração de raio–x é de identificar as fases presentes no material. A identificação foi realizada em software SearchMatch e banco de dados JCPDF2003.

Granulometria a Laser

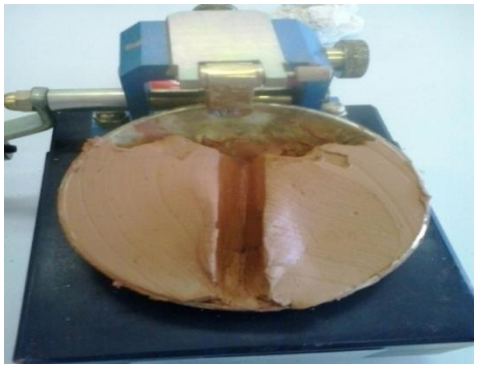
Os tamanhos e distribuição de partículas do lodo e argila foram determinados em equipamento de granulometria a laser Malvern modelo Mastersize 2000, cujo princípio de análise envolve a transmissão de luz laser através de suspensão contendo a amostra. Para ambas as amostras, classificadas abaixo de 600 microns, foi utilizado ultrassom para dispersão das partículas. Antes de medir efetivamente o tamanho das partículas, foi observado o grau de obscuridade da amostra conforme

ela passa em frente à lente. O tempo de exposição ao ultrassom foi determinado observando o comportamento da amostra. Quando a obscuridade não sofre mais aumento com a progressão do ultrassom, este é um indicativo de que a amostra foi convenientemente dispersa. Para a argila foi necessário 2 minutos e 30 segundos de tempo de ultrassom. No caso do lodo, foi necessário mais tempo (de 15 a 20 minutos).

Limite de liquidez da argila (LL)

Os ensaios de plasticidade são realizados somente com a parte fina do solo, representada pelo material que passa na peneira de abertura 0,42 mm. O limite é definido como a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico, sendo a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo. O solo pode ser *líquido*, *plástico* ou *sólido*. Determina-se o teor de umidade com que o solo fecha certa ranhura sob o impacto de 25 golpes do aparelho Casagrande (Figura 18).

Figura 18 – Aparelho Casagrande



Fonte: Elaboração própria

O aspecto e a consistência dos solos e, em particular das argilas presentes, variam de maneira muito nítida conforme a quantidade de água que contém. Limite de Atterberg (apud CAPUTO, 1978) desenvolveu ensaios que consistem em medir o teor de umidade do solo nos diversos estados de consistência.

Limite de plasticidade (LP)

Este limite é tido como teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço, sendo a umidade de transição entre os estados plásticos e semi-sólido do solo. A medida do LP é o resultado do teor de umidade no qual um cilindro de argila de 3 mm de diâmetro apresenta fissuras. Corresponde ao teor de umidade necessário e suficiente para rolar uma porção do solo umedecido sobre uma placa de vidro até formar um pequeno cordão com 3 mm de diâmetro e 12 cm a 15 cm de comprimento (figura 19). A diferença entre o limite de liquidez e de plasticidade determina o índice de plasticidade IP conforme equação (1).

Determinação de liquidez (wL) e de Determinação de plasticidade (wP) das matérias primas foram obtidas de acordo com a NBR 6459 e a NBR 7180.

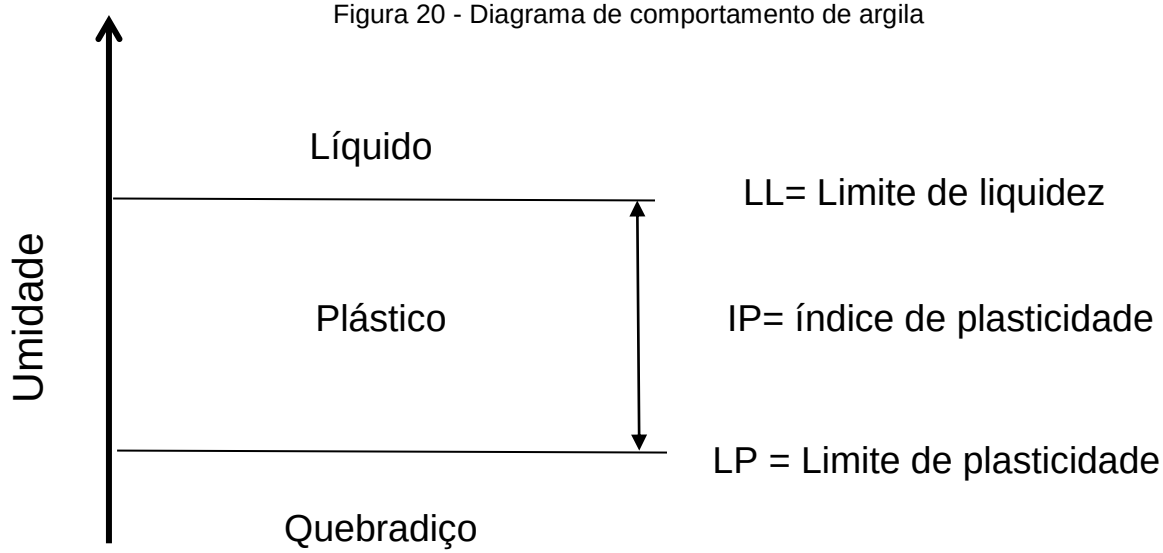
$$IP = wL - wP \qquad (1)$$

Figura 19 – Determinação do LP e IP

Fonte: Elaboração própria

Já o diagrama da Figura 20 fornece uma visualização destas propriedades em função da umidade.

Figura 20 - Diagrama de comportamento de argila



Fonte: Elaboração própria

Queda da bola

O teste de queda da bola (Figura 21) indica o tipo da argila em função da sua propriedade de coesão e consiste em:

- Tomar uma porção da argila seca;
- Juntar água suficiente para fazer uma bola com diâmetro aproximado de 3 cm;
- Soltar de uma altura de aproximada de 1 m.
- Verificar o aspecto do material;
- Quando a bola for aderente, o material é considerado plástico.

Figura 21 - Teste da queda da bola

Fonte: Elaboração própria

Preparação das Misturas Argila e Lodo

Foram pesadas massas de argila no montante de 2,7 kg e adicionado material do lodo seco a 60°C e peneirado em malha 600 microns nas proporções desejadas (5 e 10%). Uma quantidade de água de 20% em peso foi adicionada à massa resultante enquanto se procedia a mistura dos componentes até se obter:

a) Homogeneidade completa, onde não se distinguia partículas ou aglomerados de argila (clara) do lodo (escura);

b) Boa moldabilidade da mistura a ponto de poder ser manuseada e preencher a cavidade do molde para compactação.

Para as amostras de argila pura, adicionou-se cerca de 20% de água para melhorar a moldabilidade para o carregamento do molde. A compactação foi realizada em prensa com matriz de 45 x 95,3 mm sob pressão de cerca de 1 MPa.

O procedimento de preparação segue a sequência abaixo com ilustrações:

(a) Misturar o Lodo na argila conforme as porcentagens estudadas;
(b) Acrescentar 20% de água em relação à quantidade de argila;
(c) Misturar manualmente até obter a homogeneização do material;
(d) Preencher o material dentro da forma de madeira;
(e) Compactar o molde com o material na prensa com carga de 500 kg;
(f) Retirar o excesso de argila;
(g) Extrair o tijolo da forma.

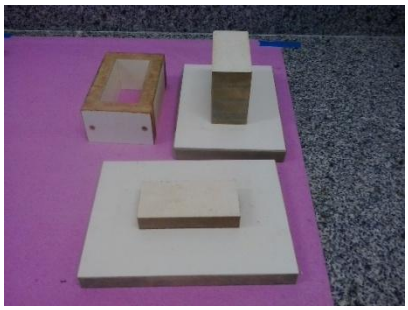
Figura 22 - Misturar o Lodo na argila

Fonte: Elaboração própria

Figura 23 - Acrescentar 20% de água em relação à quantidade de argila

Fonte: Elaboração própria

Figura 24 - Compactar o material dentro da forma de madeira



Fonte: Elaboração própria

Figura 25 - Compactar o molde com o material junto a uma prensa;

Fonte: Elaboração própria

Figura 26 - Retirar o tijolo da forma.

Fonte: Elaboração própria

Conformação e Retração Linear pós Queima

Os corpos-de-prova em forma de tijolos foram compactados em moldes de 45 x 95,3 mm sob pressão de cerca de 1 MPa. Os tijolos conformados foram estufados â 100ºC durante 24 h e depois queimados (sinterizados) a uma temperatura de aproximadamente 950ºC durante duas horas. Posteriormente, mediu-se retração após a queima utilizando-se a equação de retração, na qual adotou-se L*f* como comprimento final do material queimado. Antes do processo de sinterização, mediu-se os comprimentos dos corpos de provas (Li) e também seu peso (Mi). Após a queima, as amostras foram novamente medidas e pesadas, obtendo (Lf) e (Mf). Com os dados obtidos foram determinadas as propriedades: Retração Linear (Equação 2) e Perda ao Fogo (Equação 3):

$$\mathrm{RL}\ (\%) = \frac{\mathrm{Li}\ -(\mathrm{Lf})}{(\mathrm{Li})}\ \mathrm{x}\ 100 \qquad (2)$$

$$\mathrm{PF}\ (\%) = \frac{\mathrm{Mi}\ -(\mathrm{Mf})}{(\mathrm{Mi})}\ \mathrm{x}\ 100 \qquad (3)$$

As Figuras 27 e 28 mostram os corpos de prova preparadas no Laboratório de Propriedades Termofisicas e o forno empregado para a queima.

Figura 27 - Preparação dos corpos de provas

Fonte: Elaboração própria

Figura 28 – Forno para queima

Fonte: Elaboração própria

Ensaio de compressão

As formulações de tijolos produzidas (compactadas e secas) foram sinterizadas a 950°C para gerar amostras para o ensaio de compressão e encaminhadas ao laboratório da empresa Qualitec localizada na cidade de Votorantim. O ensaio foi realizado conforme a norma da ABNT NBR 6460, onde os tijolos eram preparados conforme Figura 30: seccionados ao meio e cimentados com argamassa, repousando sob o nível de água durante 24 horas para garantir a cura do ligante (Figura 30).

Após a preparação, as amostras são posicionadas na máquina de ensaios de compressão onde ocorre o avanço do embolo até a fratura do corpo de prova, com respectivo registro da carga máxima suportada (figura 31). A resistência à compressão é dada pela razão entre a carga e a seção transversal da amostra.

Figura 29 - Preparação das amostras conforme NBR 6460

Fonte: Elaboração própria

Figura 30 – Preparação dos corpos de prova (argamassa)

Fonte: Elaboração própria

Figura 31 - Ensaio de compressão

Fonte: Elaboração própria

Densidade Hidrostática

A densidade hidrostática dos tijolos consolidados foi medida pelo método detalhado por Cruz Monte (2008), onde se pesou 5 amostras de cada material secas e, após mergulhadas em água destilada durante 24h, as mesmas são pesadas imersas. A diferença entre as massas é o empuxo, o qual é numericamente igual à massa do volume de água deslocado pelo corpo. Assim, conhecida a densidade da água (~1 g/cm^3), é possível acessar o volume da amostra mergulhada, enquanto que a razão entre a massa e este volume fornece o valor da densidade do corpo (a menos da porosidade fechada).

A equação utilizada é:

$$\rho_H = (Ms.\ \rho_L)/(Mu-Mi) \qquad (4)$$

Onde: Ms, Mu e Mi são as massas seca, úmida e imersa e ρ_H e ρ_L são as densidades hidrostática do corpo e densidade da água (=1 g/cm^2). Todas as massas foram medidas na balança analítica BEL dotada de kit de densidade hidrostática composto de plataforma, cesta suspensa em estrutura e becker com água destilada. Amostras de diversos tijolos foram separadas e pesadas suas massas secas, sendo depois imersas em Becker com água a 25°C, permanecendo por 24 horas. Em seguida foram transferidas rapidamente ao Becker com a cesta no interior da

balança, onde se registrou Mi. Por último, as amostras eram retiradas do dispositivo, enxugado o excesso de água em pano úmido, quando então pesava-se novamente o valor da massa úmida. Não se utilizou água fervente para impregnar os poros das amostra devido ao risco de desagregação de particulados dos tijolos. Ao invés da fervura, optou-se em manter a imersão durante 24 horas, alternando a posição das amostras, de forma a garantir a impregnação com água.

Densidade Aparente

As densidades aparentes são determinadas pela razão entre a massa dos tijolos e seu volume, medidas com paquímetro.

Dilatometria.

A Análise Dilatométrica é uma técnica cujo princípio do teste consiste na medição das variações dimensionais que sofre um corpo de prova quando submetido a um ciclo de aquecimento definido. Foram conduzidas dilatometrias de 20 a 950°C em taxa de aquecimento de 5°C/min, sob vazão de ar de 20 ml/min. As amostras foram compactadas na forma de pastilhas cilíndricas sob carga aproximada de 20 MPa, secas em estufa a 100°C por 24 horas, cortadas e pesadas, resultando em densidades aparentes (a verde) conforme abaixo (Tabela 5):

Tabela 5 - Amostras para Dilatometria

Material	Massa (g)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Densidade a verde (g/cm^3)
Argila	0,2665	8	4,48	1,1835
Argila +10% lodo	0,3052	8	4,82	1,2597

Fonte: Elaboração própria

A densidade a verde da argila contendo 10% de lodo é maior devido ao efeito lubrificante da carga contendo polímeros e material orgânico.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fluorescência de Raios-X (FRX) do lodo

Conforme a tabela 6, as análises de elementos presentes em 3 amostras de lodo amostradas indica os maiores constituintes como Si, Al, Fe, Ca e Cl, elementos estes esperados em minerais alumino-silicatos como argilas e solos, com exceção do cloro, que pode ser resultado de alguma presença do polímero PVC no resíduo.

Tabela 6 - Resultados segundo FRX de 3 amostras de lodo.

Amostra		Amostra- A1	Amostra - A2	Amostra - A3	
Data/Hora		**26-Feb-2015**	**26-Feb-2015**	**26-Feb-2015**	**Elementos**
Elementos encontrados e suas porcentagens (%)	**Ag**	**0.219**	**0.203**	**0.234**	**Prata**
	Al	**16.197**	**15.956**	**15.727**	**Alumínio**
	As	**0.019**	**0.019**	**0.018**	**Arsênio**
	Ba	**0.098**	**0.098**	**0.116**	**Bário**
	Br	**0.005**	**0.004**	**0.006**	**Bromo**
	Ca	**11.969**	**12.125**	**11.724**	**Cálcio**
	Cl	**7.182**	**5.387**	**6.220**	**Cloro**
	Cr	**0.048**	**0.044**	**0.049**	**Crômio**
	Cu	**0.404**	**0.400**	**0.384**	**Cobre**
	Eu	**0.106**	**0.112**	**0.112**	**Európio**
	Fe	**14.048**	**14.288**	**13.791**	**Ferro**
	Ga	**0.007**	**0.006**	**0.007**	**Gálio**
	K	**1.612**	**1.538**	**1.909**	**Potássio**
	Mg	**0.816**	**0.814**	**0.799**	**Magnésio**
	Mn	**0.283**	**0.293**	**0.268**	**Manganês**
	Na	**2.193**	**1.832**	**1.998**	**Sódio**
	Nb	**0.005**	**0.005**	**0.005**	**Nióbio**
	Ni	**0.021**	**0.015**	**0.014**	**Níquel**
	P	**2.489**	**2.506**	**2.427**	**Fosforo**
	Pb	**0.037**	**0.036**	**0.039**	**Chumbo**
	Rb	**0.011**	**0.010**	**0.013**	**Rubídio**
	S	**2.457**	**2.959**	**2.862**	**Enxonfre**
	Se	**0.019**	**0.019**	**0.022**	**Selênio**
	Si	**36.614**	**38.232**	**38.141**	**Silício**
	Sn	**0.015**	**N.D.**	**0.018**	**Estanho**
	Sr	**0.059**	**0.056**	**0.061**	**Estônio**
	Ti	**2.338**	**2.366**	**2.334**	**Titânio**
	V	**0.023**	**0.022**	**0.020**	**Vanádio**
	Y	**0.007**	**0.006**	**0.007**	**Ítrio**
	Zn	**0.521**	**0.496**	**0.482**	**Zinco**
	Zr	**0.179**	**0.154**	**0.191**	**Zircônio**

Fonte: LAREX

Umidade do lodo

Após análise, verificou-se que o lote amostrado de lodo apresenta 71,17% de umidade, conforme resultados abaixo:

- Peso total úmido das amostras = 9,840 kg;
- Peso total seco (60°C/48h) das amostras = 2,836 kg;
- Umidade % = Peso Úmido- Peso Seco/Peso Úmido;
- Umidade % = (7,004/9,840) x 100 = 71,17%.

Após a secagem em estufa, o lodo apresenta 28,83% de massa, total de 2,836 kg. Este percentual norteia para uma possível meta de incorporação do lodo em tijolos cerâmicos. Nesta dissertação incorporou-se até 10% de lodo no tijolo cerâmico estudado, conforme referencia Watanabe (2014).

Umidade da argila

Após análise, verificou-se que o lote amostrado da argila apresenta 71,17% de umidade, conforme resultados abaixo:

- Peso úmido da amostra = 23,0 g;
- Peso seco (60°C/48h) das amostras = 18,17 g;
- Umidade % = Peso Úmido- Peso Seco/Peso Úmido;
- Umidade % = (4,83/23) x 100 = 21 %.

Densidade das partículas do lodo, argila e mistura.

Tabela 7 - Resultado de densidade por picnométria

	Massa da amostra (g)	Densidade g/cm³
Lodo	3,3269	2,4359
Argila	3,6631	2,9915
Mistura (10%)	5,3815	2,8264

Fonte: Elaboração própria

De acordo com o ensaio de picnometria, observou-se que o lodo possui menor densidade em comparação a argila, possivelmente devido aos compostos orgânicos e polímeros presentes.

pH do Lodo, Argila e mistura

O resultado apresentado do pH da suspensão obtida com o lodo foi de 7,70, em temperatura de 19,5°C, onde o pH padrão é de 7,0 (neutro). Portanto, o lodo possui um valor de pH com leve basicidade em função dos resultados.

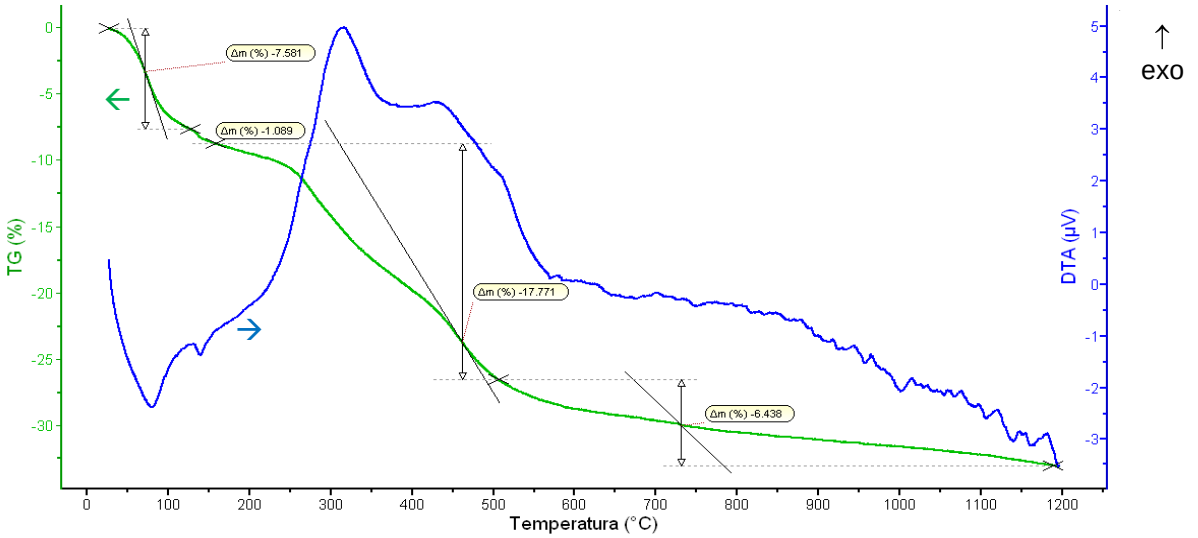
O resultado apresentado do pH da argila foi de 5,07, em temperatura de 19,5°C. A argila produz uma suspensão mais ácida. O resultado apresentado do pH da composição argila – 10% lodo foi de 6,28 com uma temperatura de 24°C, intermediário entre os 2 componentes puros. Assim, o teor de cloro do lodo detectado na análise de FRX não contribui para a acidez, ou seja, cloro se encontra ligado, possivelmente na molécula do polímero PVC.

TG/DTA do Lodo e Argila

A análise de TG/DTA do lodo seco a 60°C/48 h é mostrada na Figura 32.

- Massa da amostra: 13,5 mg;
- Razão de aquecimento: 10°C/min até 1.200°C;
- Atmosfera: ao ar
- Resfriamento: 20°C/min;
- Tipo de Suporte: Cerâmica e Platina;
- Tempo da análise: 120 minutos.

Figura 32 - TG/DTA do Lodo



Fonte: IPEN

Descrição do TG/DTA do lodo:

1ª perda de massa de 7,581% associado a pico DTA endotérmico até cerca de 125°C corresponde à perda de umidade e voláteis;

2ª perda de massa de 1,089% associada a pico endotérmico estreito de 125 até 160°C corresponde a perda de água ou decomposição de composto do lodo;

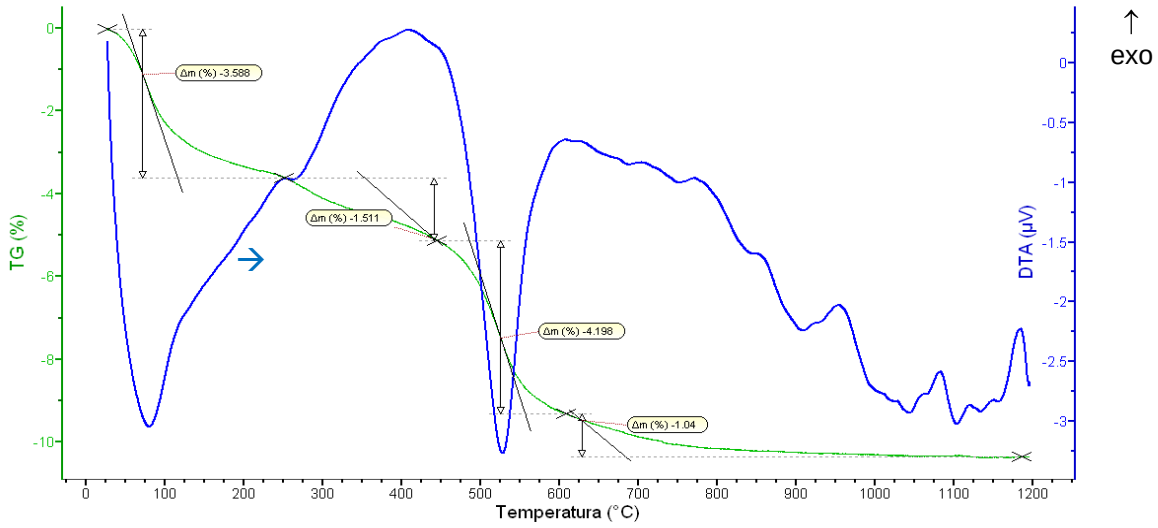
3ª perda de massa de 17,771% associado a 2 picos DTA exotérmicos indica a combustão de material contendo carbono (orgânico) de 160°C até cerca de 500°C.

4ª perda de massa de 6,438% de 500 a 1200°C sugerem outras decomposições não específicas em menor teor.

A análise de TG/DTA da argila seca a 60°C é mostrada na Figura 32, partindo das condições abaixo:

- Massa da amostra: 40,1 mg;
- Razão de aquecimento: 10°C/min até 1.200°C;
- Atmosfera: ao ar
- Resfriamento: 20°C/min;
- Tipo de Suporte: Cerâmica/Alumina;
- Tempo da análise: 120 minutos.

Figura 33 - TG/DTA da Argila



Fonte: IPEN

Descrição:

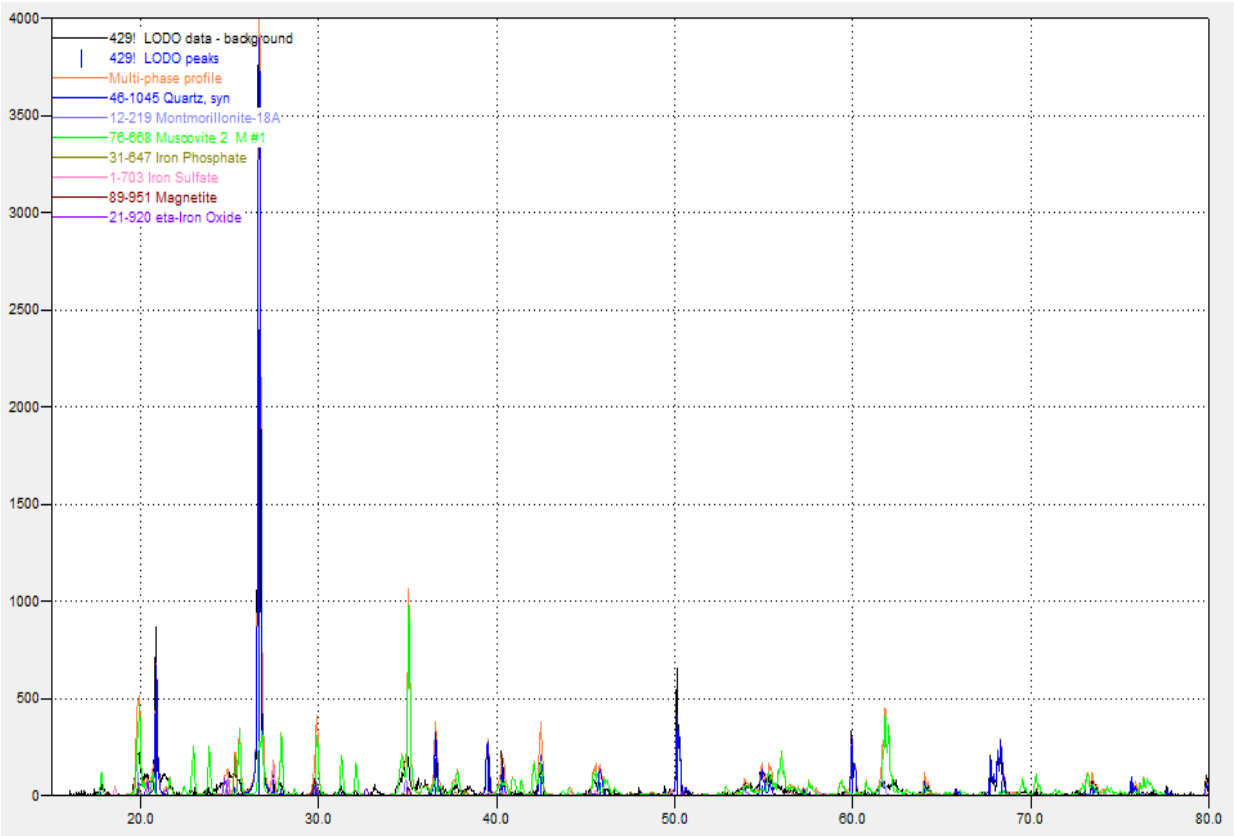
- 1ª perda de massa de 3,588% associado a pico DTA endotérmico até cerca de 230°C corresponde à perda de umidade e voláteis
- 2ª perda de massa de 1,511% associada a pico exotérmico de 200 até 450°C corresponde à combustão de material orgânico e/ou com carbono
- 3ª perda de massa de 4,198% associado a pico DTA endotérmico indica a decomposição de compostos presentes na argila de 450°C até cerca de 610°C.
- 4ª perda de massa de 1,04% com diversos possíveis picos endotérmicos e/ou exotérmicos de 610 a 1200°C sugerem outras decomposições não específicas em menor teor.

Pode-se notar que o teor de voláteis, umidade e perda de massa na queima do lodo é superior à argila (aproximadamente 32% contra 10%) em amostras previamente secas a 60°C. O lodo possui polímeros e sujidades que sofrem combustão e são gaseificados da amostra, enquanto que a argila possui essencialmente alto teor mineral.

DRX do lodo e argila

A Figura 35 mostra os resultados da identificação da análise por difração de raios-X do lodo, enquanto a Figura 34 mostra o resultado da argila.

Figura 34 - Análise de DRX do lodo

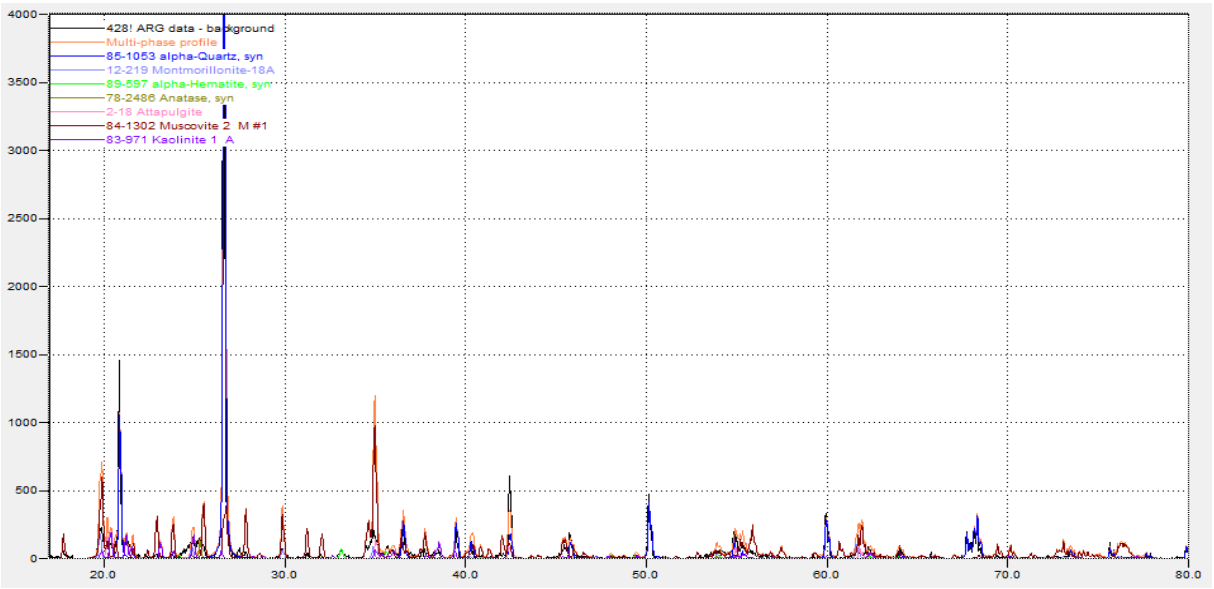


Pdf No.		Name	Formula
46-1045	A	Quartz, syn	Si O2
12-219	B	Montmorillonite-18A	Na0.3 (Al Mg)2 Si4 O10 O H2 !6 H2 O
76-668	C	Muscovite 2 M #1	K2 (Al3.74 Fe0.26) (Si6 Al2 O20) (O H)4
31-647	D	Iron Phosphate	Fe P O4
1-703	E	Iron Sulfate	Fe S O4
89-951	F	Magnetite	Fe3 O4
21-920	G	eta-Iron Oxide	Fe2 O3

Fonte: IPEN

As fases determinadas (através da base de fichas cristalográficas, JCPDF em inglês) são minerais argilosos e quartzo, além de óxido, fosfatos e sulfatos de ferro. O composto de maior reflexão é o quartzo. Assim, parece claro que a maior parte das sujidades provém do solo, normalmente coletado em conjunto com os resíduos pelos catadores.

Figura 35 - Análise de DRX da argila



Pdf No.		Name	Formula
85-1053	A	alpha-Quartz, syn	Si O2
12-219	B	Montmorillonite-18A	Na0.3 (Al Mg)2 Si4 O10 O H2 !6 H2 O
89-597	C	alpha-Hematite, syn	Fe2 O3
78-2486	D	Anatase, syn	Ti O2
2-18	E	Attapulgite	Mg Al Si4 O10 (O H) !4 H2 O
84-1302	F	Muscovite 2 M #1	K Al3 Si3 O10 (O H)2
83-971	G	Kaolinite 1 A	Al2 (Si2 O5) (O H)4

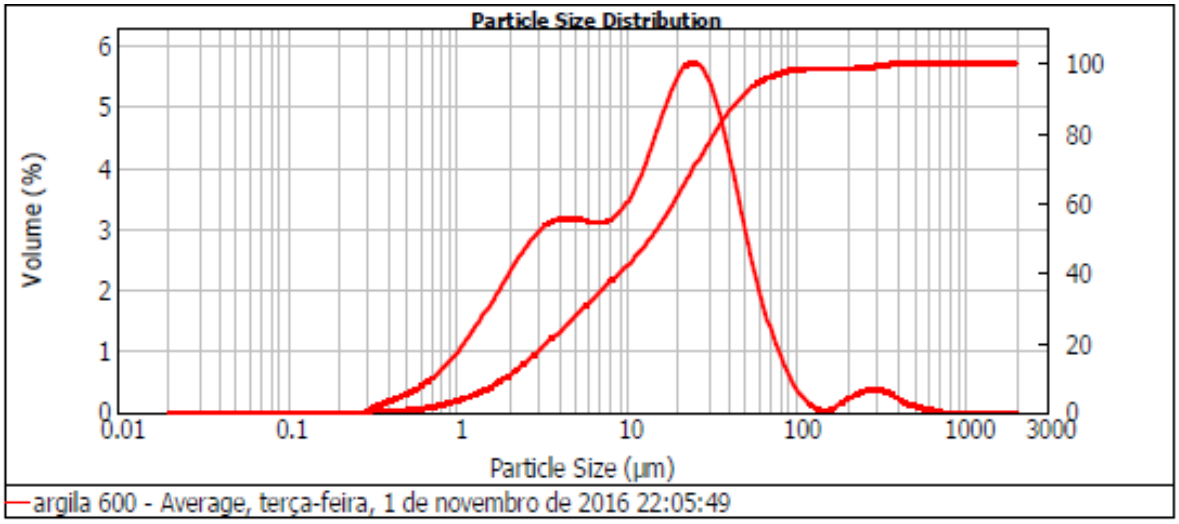
Fonte: IPEN

Ambos os materiais (argila e lodo) mostram constituintes semelhantes, isto é: quartzo, argila montmorilonítica, muscovita e caulinita, além de óxido de ferro. Desta feita, o resultado é interessante uma vez que se espera boa compatibilidade entre a matéria prima argilosa e o resíduo estudado. Vale dizer que a argila montmorilonítica detectada é típica do solo da região.

Granulometria a Laser

A figura 36 a seguir mostra a análise da argila sem aditivos em meio de etanol, indicando um tamanho médio de partícula de 13,96 µm e uma distribuição bi-modal com quantidades importantes de finos.

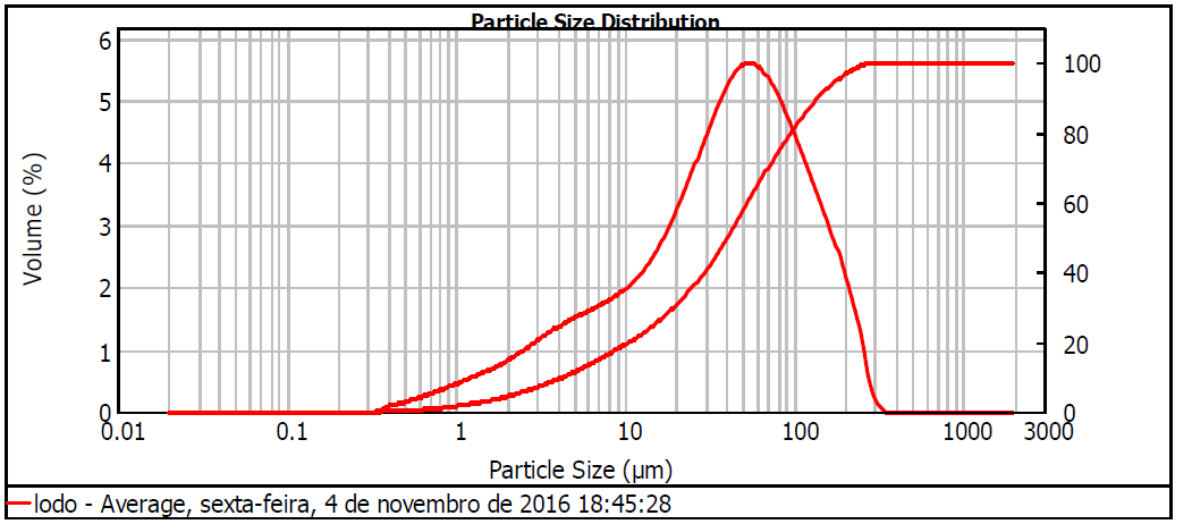
Figura 36 - Análise granulométrica a laser da argila.



Fonte: LAREX

A análise granulométrica do lodo seco a 60°C (Figura 37) indica uma distribuição mono-modal e tamanho médio de partícula de 40,42 µm. Assim o lodo possui maior quantidade de partículas grosseiras.

Figura 37 - Análise granulométrica a laser do lodo.



Fonte: LAREX

Limite de Liquidez (LL)

O limite de liquidez foi medido com o aparelho Casagrande aplicando 25 golpes acrescentando 130 ml de água na argila seca de peso inicial 200 g. O teor de umidade encontrado no ensaio foi de 39,39%.

Limite de plasticidade (LP)

O limite de plasticidade foi conduzido com o procedimento de rolar uma porção de Argila umedecida sobre uma placa de vidro até que se forme um cordão com 3 mm de diâmetro e 15 cm de comprimento. Foram acrescentados 70 ml de água na Argila seca com massa de 200g. O teor de umidade encontrado no ensaio foi de 25,92%.

Índice de Plasticidade

A diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade determina o índice de plasticidade da argila. No caso da argila estudada o resultado apresentado é equacionado:

Limite de Liquidez (LL) = 39,39%;

Limite de Plasticidade (LP) = 25,92%;

Índice de Plasticidade = LL – LP; (5)

IP = 39,39-25,92

IP= 13,47%

De acordo com os resultados apresentados de IP de 13,47% e do LL de 39,39% podem chegar a uma classificação do tipo de solo que temos neste estudo, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação dos solos em função dos índices de plasticidade (CRATerre, 1979)

Tipo de Solo	IP (%)	LL (%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Siltoso	5 a 25	20 a 50
Argiloso	>20	>40

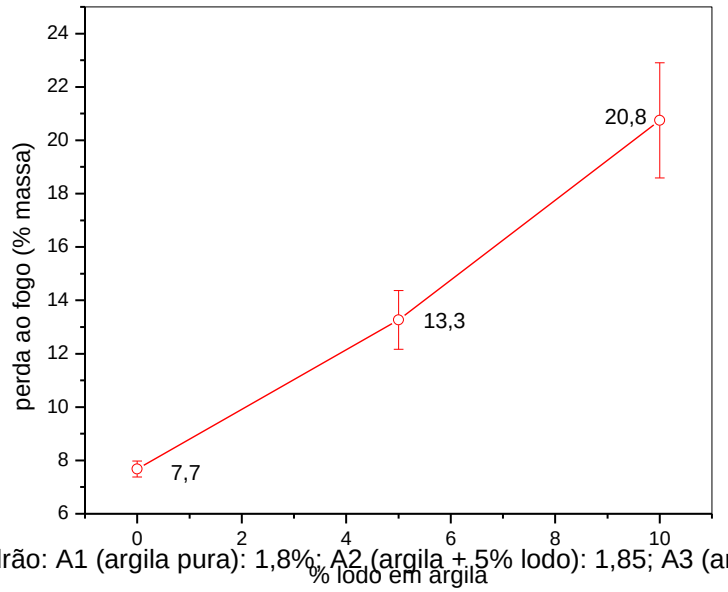
Fonte: Elaboração própria

Assim, conclui-se que a argila é do tipo siltoso, o que é comum em argila montmorilonítica.

Perda ao fogo

O Gráfico 4 apresenta a perda ao fogo média dos corpos de prova em um universo de 15 amostras. Como esperado, a perda ao fogo aumenta em função da percentagem de lodo na argila devido à presença de material orgânico e voláteis.

Gráfico 4 – Perda ao fogo dos corpos de prova em função do teor de lodo em massa.



Desvio padrão: A1 (argila pura): 1,8%; A2 (argila + 5% lodo): 1,85; A3 (argila + 10% lodo): 2,15%.
Fonte: Elaboração própria

Densidade Hidrostática e Aparente (geométrica)

Os dados de densidade dos tijolos queimados a 950°C/2 horas de argila base e com adição de lodo são mostrados nas tabelas seguintes. As densidades foram determinadas a partir de medidas geométricas e hidrostáticas.

Tabela 9 - Densidade hidrostática de tijolos 100 % argila queimados em água destilada.

	Massa seca	Massa úmida	Volume agua	Densidade	Massa imersa	Densidade 25°C	Densidade hidrostática	Porosidade aberta
1	6,1385	7,304	2,4938	2,4615	3,6447	0,997	1,6724	31,8503
2	6,1861	7,353	2,5243	2,4506	3,6618	0,997	1,6708	31,6130
3	6,2262	7,3841	2,5657	2,4267	3,6605	0,997	1,6670	31,0962
4	3,941	4,6568	1,6211	2,4310	2,3199	0,997	1,6813	30,6303
5	2,3954	2,8375	0,9846	2,4328	1,4108	0,997	1,6739	30,9875

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 - Densidade aparente (g/cm^3) antes sinterização com tijolos cerâmicos 100% argila: dimensões H, L, C e massa P.

N° Tijolo	H (cm)	L (cm)	C (cm)	P (g)	Vol. (cm^3)	Densidade aparente
1	13,300	41,400	88,600	46,941	48,785	0,962
2	9,500	42,000	87,600	54,859	34,952	1,570
3	9,300	41,000	88,000	53,861	33,554	1,605
4	9,600	41,000	88,700	57,761	34,912	1,654
5	11,600	39,000	91,200	58,029	41,259	1,406
6	11,600	41,600	87,000	65,080	41,983	1,550
7	9,450	41,700	87,600	57,002	34,520	1,651
8	11,200	41,000	88,000	66,668	40,410	1,650
9	10,700	41,000	88,400	65,367	38,781	1,686
10	7,700	40,000	89,700	42,817	27,628	1,550
Média						**1,528**

Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 Densidade aparente (g/cm^3) após sinterização com tijolos cerâmicos 100% argila: dimensões H, L, C e massa P.

Tijolos sinterizados a 950°C						
N° Tijolo	**H (cm)**	**L (cm)**	**C (cm)**	**P (g)**	**Vol. (cm³)**	**Densidade aparente**
1	7,600	41,000	87,800	43,140	27,358	1,577
2	9,200	41,700	86,700	50,619	33,262	1,522
3	8,900	41,000	88,200	49,760	32,184	1,546
4	9,600	40,600	88,300	53,289	34,416	1,548
5	10,700	39,600	89,600	53,595	37,965	1,412
6	10,600	41,000	88,000	60,430	38,245	1,580
7	9,450	41,400	86,500	52,652	33,841	1,556
8	11,500	40,700	87,550	61,646	40,978	1,504
9	10,600	41,500	87,300	60,056	38,403	1,564
10	8,700	39,500	88,800	39,357	30,516	1,290
Média						**1,547**

Fonte: Elaboração própria

Tabela 12 - Densidade aparente antes da sinterização com tijolos cerâmicos com 10% de lodo

N° Tijolo	**H (cm)**	**L (cm)**	**C (cm)**	**P (g)**	**Vol. (cm³)**	**Densidade aparente**
1	12,000	41,400	85,300	71,489	42,377	1,687
2	12,000	40,000	87,800	65,329	42,144	1,550
3	11,000	40,500	87,000	67,856	38,759	1,751
4	13,000	41,400	87,200	78,682	46,931	1,677
5	10,500	40,000	87,000	56,839	36,540	1,556
6	14,900	40,500	86,000	77,312	51,897	1,490
7	11,000	41,000	87,300	67,502	39,372	1,714
8	12,300	40,000	88,000	66,082	43,296	1,526
9	12,000	40,000	89,300	59,049	42,864	1,378
10	11,200	41,000	87,000	66,135	39,950	1,655

Média 1,605

Tabela 13. Densidade aparente após a sinterização com tijolos cerâmicos com 10% de lodo

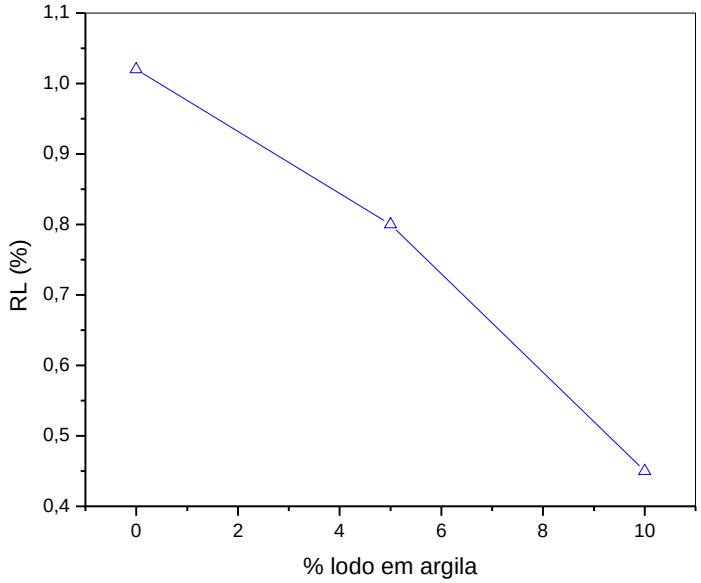
N° Tijolo	H (cm)	L (cm)	C (cm)	P (g)	Vol. (cm^3)	Densidade aparente
1	12,000	41,100	85,800	65,858	42,317	1,556
2	12,400	40,000	87,000	60,268	43,152	1,397
3	11,400	40,800	87,100	62,614	40,512	1,546
4	13,200	41,000	87,300	72,565	47,247	1,536
5	10,400	39,600	86,200	52,278	35,501	1,473
6	13,300	40,200	86,400	71,382	46,195	1,545
7	11,400	40,000	86,300	62,162	39,353	1,580
8	11,500	40,100	87,600	60,922	40,397	1,508
9	11,000	39,600	87,000	54,452	37,897	1,437
10	10,800	40,500	86,600	61,096	37,879	1,613
Média						1,519

Fonte: Elaboração própria

A densidade dos tijolos queimados é compatível aos valores usualmente encontrados. Após a sinterização, verificou-se que a densidade das amostras com 10% de lodo é menor que os tijolos cerâmicos com 100% de argila em 1,8%.

A retração linear com base no maior comprimento dos prismas (tijolos) é mostrada no gráfico 5 para as 3 composições estudadas: argila 100% e com 5 e 10% de lodo. Segundo os resultados de retração na queima, pode-se afirmar que o lodo reduz a consolidação da argila, muito embora a retração seja pequena nesses materiais. A perda de massa ou perda ao fogo mostrada no Gráfico 4 explicam a pequena retração e baixa densificação dos tijolos, uma vez que os materiais orgânicos, água livre e ligada, além de outros voláteis, evoluem dos corpos durante a queima, reduzindo a massa e gerando poros. As curvas termogravimétricas sugerem eventos de combustão de materiais contendo carbono, que também contribuem para a perda de massa, especialmente nos materiais com incorporação de lodo.

Gráfico 5 - Retração linear dos tijolos em função do teor de lodo e argila



Fonte: elaboração própria

Ensaio de Compressão

Os ensaios de compreensão dos tijolos com 10% de lodo apresentam, em média, uma menor resistência à compressão de 10,68%, comparada à resistência dos tijolos com argila pura (Tabelas 13 e 14). Uma melhor visualização através do Gráfico 6 demonstra, entretanto, que a incorporação do lodo à argila em 10% em massa não influi consideravelmente na resistência mecânica do tijolo.

Tabela 14 - Resultado do ensaio de compressão com tijolo com 0% lodo

N	Largura cm	Largura cm	Largura cm²	Carga TON	Carga kgf	kgf/cm²	Mpa
1	4,2	4,6	19,32	4,01	4010	207,56	20,35
2	4,3	4,15	17,845	3,28	3280	183,80	18,02
3	4,4	4,25	18,7	3,4	3400	181,82	17,83
4	4,15	4,3	17,845	3,19	3190	178,76	17,53
5	4,3	4,25	18,275	3,31	3310	181,12	17,76
6	4,4	4,4	19,36	3,89	3890	200,93	19,70
7	4,3	4,3	18,49	3	3000	162,25	15,91
8	4,25	4,2	17,85	3	3000	168,07	16,48

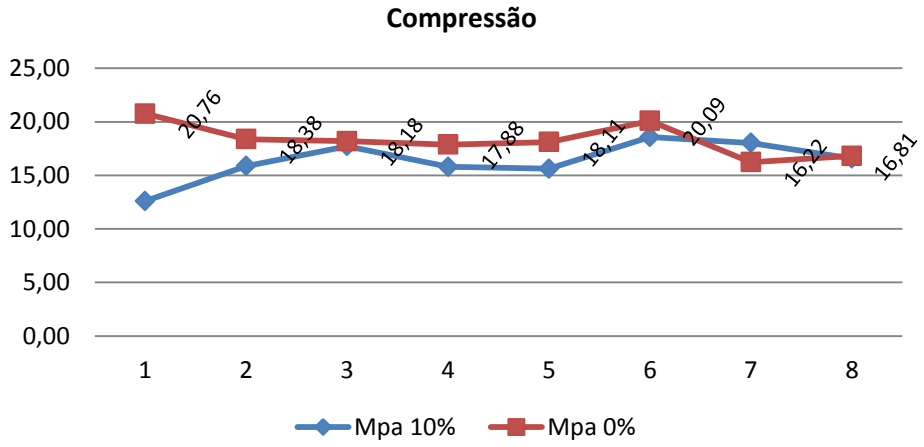
Fonte: Elaboração própria

Tabela 15 - Resultado do ensaio de compressão com tijolo com 10% lodo

N	Largura cm	Largura cm	Largura cm²	Carga TON	Carga kgf	kgf/cm²	Mpa
1	3,9	4,15	16, 185	2,04	2040	126,04	12,36
2	4,3	4,25	18,275	2,9	2900	158,69	15,56
3	4,35	4,15	18,0525	3,2	3200	177,26	17,38
4	4,2	4,25	17,85	2,82	2820	157,98	15,49
5	4,35	4,3	18,705	2,92	2920	156,11	15,31
6	4,2	4,1	17,22	3,2	3200	185,83	18,22
7	3,95	4,1	16,195	2,92	2920	180,30	17,68
8	4,35	4,3	18,705	3,1	3100	165,73	16,25

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 6 – Resultado de resistência a compressão



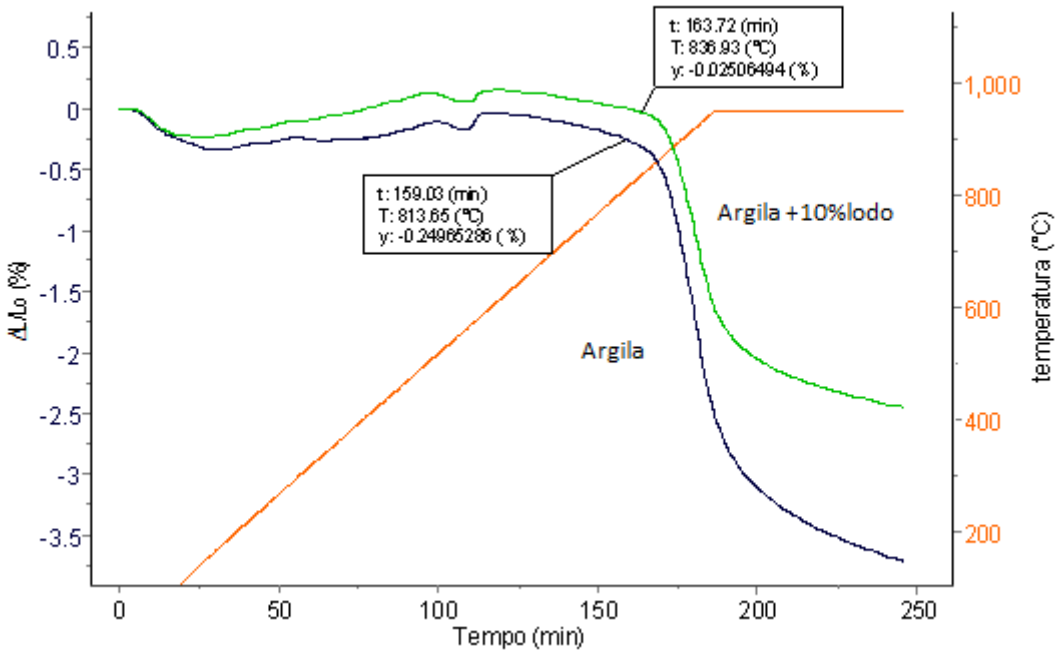
Fonte: Elaboração própria

A queda de resistência á compressão dos tijolos com adição de 10% lodo é coerente com a menor retração linear após sinterização, que indica uma consolidação pouco menos eficaz pela introdução de certa quantidade de voláteis e material orgânico. Tais componentes podem gerar gases e, portanto, maior porosidade, enquanto que o padrão de contato das partículas de argila pode ser levemente comprometido.

Dilatometria

Observa-se que a adição de 10% de lodo reduz a retração da argila a 950°C, conforme Figura 42 e coerentemente com o gráfico 5. Muito embora a densidade a verde da argila com adição de lodo seja maior, o resultado sugere que o material do lodo é menos ativo e mais grosseiro. A adição do lodo provoca um pequeno atraso do início da retração de 813,7°C para 836,9°C. Ao final do patamar de 1h a 950°C, a argila pura parece ainda retrair com intensidade, enquanto que o material com adição de lodo se aproxima da densificação máxima. Uma pequena retração em ambas as amostras entre 500 e 600°C indicam decomposição de constituintes e a transformação de fase do quartzo, que ocorre em 575°C.

Figura 38 - Dilatometria de corpos de prova de argila pura e com incorporação de lodo.



Fonte: Elaboração própria

FRX de Tijolos Queimados

A Tabela 16 mostra a análise química de elementos detectados via FRX, onde se observa que a incorporação de lodo em argila, em geral, não produz elevações consideráveis no teor de elementos que possa provocar alguma preocupação. O nível de adição de lodo (10%) demonstra uma diluição adequada de constituintes danosos ao meio ambiente, promovendo a eliminação da maior parte. A incorporação de lodo em argila não afeta teores de Si, Al e Fe, eleva pouco o teor de Cl e de Ca. Metais pesados como Cr e Pb não são incrementados pela adição de lodo à argila. Este resultado sugere, mais uma vez, que há boa compatibilidade entre a argila e o lodo estudado, que, na verdade, tem composições semelhantes.

Tabela 16 - Teores de elementos em tijolos queimados – FRX.

Elementos	Concentração (%)	
	Tijolo argila	Tijolo argila + lodo
Si	47,4	46,8
Fe	23,2	23,7
Al	15,2	14,8
K	7,47	7,60
Ti	2,03	2,07
Ca	1,86	2,11
P	0,865	0,873
Mg	0,589	0,595
Mn	0,492	0,579
Cl	0,384	0,417
S	0,036	0,050
Zr	0,100	0,094
Zn	0,081	0,088
Rb	0,062	0,057
V	0,051	0,051
Cr	0,040	0,045
Ba	0,037	0,029
Cu	0,035	0,038
Ni	0,028	0,028
Pb	0,023	0,022
Sr	0,017	0,016
Y	0,015	0,014
Ga	0,011	0,011
As	0,000	0,000
Nb	0,007	0,006

Fonte: LAREX

7 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados sugerem que o resíduo lodo pode ser incorporado em massa cerâmica para produção de tijolos cerâmicos. A incorporação de 10% do lodo atende a NBR 7170, que estabelece uma resistência mínima à compressão de 2,5 MPa, porém reduz em cerca de 10% a resistência a compressão, comparado com a argila estudada. Entretanto, em geral, atende as propriedades físicas e tecnológicas do material cerâmico conforme as normas.

Os materiais consolidados por sinterização a 950°C por 1 hora mostram baixa densificação e retração em relação ao tijolo conformado e seco com massas argilosas. A presença de material orgânico, umidade e voláteis, tanto na argila como no lodo, explicam este comportamento.

As boas propriedades mecânicas obtidas quando da adição ao lodo à argila indicam que ambos os materiais são compatíveis em termo de composição, fato este constatado no ensaio DRX. Verificou-se a presença de minerais no lodo como quartzo (SiO_2), argilas montmorilonítica e muscovita através da DRX e na fluorescência de raio – X. O valor de silício apresentado foi de 38,232% da amostra de lodo e cerca de 47% em tijolos queimados a 950°C de argila pura e com incorporação de lodo. A incorporação de 10% de lodo não afeta, de forma importante, os teores de elementos com riscos ambientais em potencial, como metais pesados e cloro.

Esta dissertação poderá servir de base para futuros estudos e pesquisa, com o foco em elevar o percentual de incorporação do lodo junto a argila, sem comprometer as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos corpos de provas. Além de solucionar um problema de destinação final do rejeito, é possível reduzir a extração da argila de suas jazidas, onde este recurso é limitado**.**

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10703**: *Degradação do solo*: terminologia, Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7170**: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 1004**: Classificação e Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTCO. **Perfil**, São Paulo: 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, **Panorama**, São Paulo, 2012. Disponível em 15/01/17 <http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20%20Panorama2012.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios: Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA, Rio de Janeiro, 2016(Disponível em: <http://www.anicer.com.br> Acesso 15/01/17).

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. Disponível em: < http://www.anfacer.org.br/brasil> acesso 15/01/17

ANSOFF, Igor. **A nova Estratégia Empresarial**. São Paulo: Atlas, 1991.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2. Ed. atual e ampliada. São Paulo: Saraiva 2007.

BRASIL, Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília**; DF: Senado Federal, 1997.

BRASIL, **Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010**.Institui a politica nacional de resíduos sólidos: altera a Lei n° 9.065, de 12 de fevereiro de 1998: e dá outros providências. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> acesso 15/01/17.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Meio Ambiente e Saúde – Brasília: MEC, 1997.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário minério**: Brasília: DNPM, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **A politica do 5R"s**. Brasília: MMA, 2017 em: 16/01/2017".

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento** - 1988. Nosso Futuro Comum (Relatório Brundtland). Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, **Nosso futuro comum**. 2°ed. Rio de Janeiro. Editora Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CRUZ MONTE, M. V. R. **Avaliação de engobes no aparecimento da mancha d' água em revestimentos cerâmicos**. Dissertação de mestrado, IPEN/USP, São Paulo, 2008.

DEMAJOROVIC, Jacques. **Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades**. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v.35, n.3, p. 88-93, maio/jun.1995.

EMBRAPA, 1997, **Manual de métodos de análise de solo**, 2.ed. Rio de Janeiro: 1997, Centro Nacional de Pesquisa de Solos.

GORE A. **Uma verdade inconveniente**. São Paulo: Manole 2006.

HAMEL, G.; PRAHALAD, C.K. **Competindo pelo futuro: estratégias inovadoras para obter o controle do seu setor e criar os mercados de amanhã**. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

HASSE, Leandro A. **Avaliação da qualidade dos blocos cerâmicos comercializados em Curitiba**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Departamento Acadêmico de Construção Civil – Tecnologia em Construção Civil – Concreto. Curitiba, 2006.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**: Brasil 2012. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

LIMA, Luiz Mário Queiroz. **Lixo: tratamento e biorremediação**. 3. Ed. São Paulo: HEMUS, 1995.

NAUMOFF, A.F.; PERES, C.S. **Reciclagem de matéria orgânica**. In: PANOSSIAN, Z. Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas. São Paulo: IPT, 2000.

Neves, A. C. R. R.; Castro, L. O. A. **Separação de materiais recicláveis: panorama no Brasil e incentivos à prática**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v.8, p.1734-1742, 2012.

MACEDO, R. S. et al. **Estudo de argilas usadas em cerâmicas vermelha**, Campina Grande, UFEG, 2008.Disponivel em http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n332/05.pdf acesso 15/01/17

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **O estado da arte sobre ouso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.

MELO, G.N; **Caracterização e processo de purificação de argila montmorilonitica da cidade de Parelhas/RN**, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Natal, 2010

MOTTA, José Francisco Marciano; ZANARDO, Antenor; CABRAL JÚNIOR, Marsis. **As matérias-primas cerâmicas: parte I – o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos**. Cerâmica Industrial, São Carlos, v.6, n.2, mar./abr., 2001. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n02/v6n2_4.pdf>. Acesso em: 15 janeiro. 2017.

PORTER M., The Competitive Advantage Of Nations, New York, Free Press, 1990. **Estratégia: A busca da vantagem competitiva**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

SANTOS, A. S. F. et al. **Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição**, Polímeros, São Carlos, 2012.

SERS/DEAR/CETESB, **Gerência de resíduos sólidos industriais** – Resíduos sólidos industriais, São Paulo, 1981.

SEBRAE, **Empreendedorismo no Brasil**, relatórios executivo, Global entrepreneurship monitor, São Paulo, 2014. Disponível em https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Estudos%20e%20Pesquisas/gem%202014_relat%C3%B3rio%20executivo.pdf acesso 15/01/17.

SILVA, Denise G, **A importância da Educação ambiental para a sustentabilidade.** 2012. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade estadual de educação, ciências e letras de Paranavaí, São Joaquim, 2012. Disponível em http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/04/DANISE-GUIMARAES-DA-SILVA.pdf acesso 15/01/17.

VEIGA, J.E. **Indicadores De sustentabilidade, Estudos avançados**, vol.24 São Paulo, 2010.

VIEIRA, C.M.F.; DIAS, C.A.C.M.; MOTHÉ, A.V.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S.N. **Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha**. Revista Cerâmica, v. 53, n. 328, p. 381-387, 2007.

WATANABE, Michel Hitoshi, **DESENVOLVIMENTO DE TIJOLO CERÂMICO COM INCORPORAÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA DE FORNO ELÉTRICO A ARCO**, trabalho de conclusão de curso, Uniso, 2014.

ZANETI, I. **Educação ambiental, resíduos sólidos urbanos e sustentabilidade**. Um estudo de caso sobre o sistema de gestão de Porto Alegre, RS. 2003. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

ZULAUF, WERNER E. **O meio ambiente e o futuro**, Estudos Avançados. São Paulo May/Aug. 2000.