



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA E AMBIENTE



JOSÉ MAURO CORRÊA ALVARENGA

USO DE LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA NA FABRICAÇÃO DE BLOCO CERÂMICO ECOLÓGICO
PARA USO EM CONSTRUÇÕES RURAIS.

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agricultura e
Ambiente como requisito parcial a
obtenção do título de Mestre em
Agricultura e Ambiente.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rubismar Stolf

Araras

2019

Corrêa Alvarenga, José Mauro

USO DE LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA NA FABRICAÇÃO DE BLOCO CERÂMICO ECOLÓGICO PARA
USO EM CONSTRUÇÕES RURAIS. / José Mauro Corrêa Alvarenga. --
2019.

74 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Araras, Araras

Orientador: Rubismar Stolf

Banca examinadora: Rubismar Stolf, Vanda Renata Reis, Octavio Antonio
Valsechi

Bibliografia

1. Agricultura. 2. Meio Ambiente. 3. Construções rurais. I. Orientador.
II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

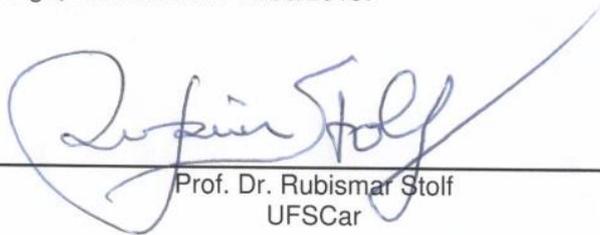
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Helena Sachi do Amaral – CRB/8 7083

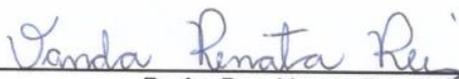


Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato José Mauro Corrêa Alvarenga, realizada em 14/03/2019:



Prof. Dr. Rubismar Stolf
UFSCar



Profa. Dra. Vanda Renata Reis
UNAR



Prof. Dr. Octavio Antonio Valsechi
UFSCar

DEDICATÓRIA

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original”

Albert Einstein

Dedico este trabalho a minha esposa Ana Paula por todo o apoio e companheirismo nesta jornada, dando força para alcançar este objetivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por esta conquista.

À minha mãe Maria Beatriz por ter contribuído na minha formação e ter dado todo o suporte para que tudo acontecesse.

À minha esposa Ana Paula pelo apoio, compreensão e força em todos os momentos de desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rubismar Stolf que apoiou o trabalho desde o início.

À Universidade Federal de São Carlos – campus Araras pela estrutura de ensino.

Aos parceiros Prefeitura de Águas de Lindoia, SAAE de Itapira, MV disk entulho e Cerâmica, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1. Resíduos sólidos.....	12
3.2. O lodo das estações de tratamento de água (ETA).....	12
3.2.1. Origem, composição e classificação.....	13
3.2.2. Tratamento do lodo.....	14
3.3. Tecnologias de fabricação do bloco cerâmico ecológico.....	15
3.3.1. Preparação da massa.....	16
3.3.2. Secagem.....	17
3.3.3 Curva de Bigot.....	19
3.3.4 Queima.....	21
3.4 Bloco cerâmico ecológico.....	22
3.5. SAAE - Sistema de Abastecimento de Água – município de Itapira - SP.....	23
3.6. Principais materiais utilizados em construções rurais.....	29
3.6.1. Possibilidade de uso do bloco cerâmico ecológico em construções rurais.....	29
3.7. Cerâmica.....	30
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1 Caracterização e produção do lodo.....	34
4.1 Estudo da produção de lodo da ETA.....	35
4.2 Proporção estudada.....	35
4.3 Caracterização do lodo.....	36
4.4 Testes no corpo de prova.....	36
4.4.1. %Umidade.....	37
4.4.2 Perda ao fogo.....	38
4.4.3 Retração após secagem.....	38
4.4.4 Retração após queima.....	39
4.4.5 Absorção de água.....	39
4.4.6 Plasticidade.....	39
4.4.7 Granulometria.....	40
4.5 Confeção do bloco cerâmico.....	41
4.6 Análise estatística.....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1 Corpos de prova.....	46
5.2.1Plasticidade.....	49
5.2.2.Granulometria.....	50
5.2.3.Curva de Bigot.....	53
5.3 Confeção e análises do bloco cerâmico.....	55
5.3.1Inspeção Visual.....	55
5.3.2Características geométricas.....	57
5.3.3Desvio em relação a esquadro.....	58
5.3.4Planeza das faces.....	59
5.3.6Água de absorção (AA).....	60
5.3.7Resistencia a compressão.....	61
6. CONCLUSÃO.....	62
7. BIBLIOGRAFIA.....	63
ANEXO I.....	69
ANEXO II.....	72

RESUMO

O lodo gerado na Estação de Tratamento de Água (ETA), que é o resíduo formado principalmente no decantador ou do filtro, é um material composto por substâncias sólidas, orgânicas e inorgânicas, que na maioria das vezes é descartado incorretamente em corpos d'água poluindo ainda mais o meio ambiente. Existem algumas opções para o uso do lodo proveniente da ETA, dentre elas pode-se citar a disposição em aterros sanitários e a incorporação em blocos cerâmicos que podem ser utilizados em construções agrícolas. Esta última está em expansão, muitas construções agrícolas como estábulos, pequenos locais de armazenamento de insumos podem ser construídos com os chamados blocos cerâmicos ecológicos, nos quais ocorre a incorporação de diferentes tipos de resíduos, nesse caso o lodo. Diante deste cenário o objetivo desse trabalho é propor um estudo de viabilidade do uso do lodo sendo adicionado em bloco cerâmico verificando assim sua viabilidade na construção agrícola. As análises foram feitas no laboratório de uma indústria cerâmica, inicialmente foi realizado teste em corpos de prova, onde se avaliou a plasticidade, granulometria e Curva de Bigot, além das análises primárias de Umidade, Perda ao Fogo, Perda Total, Retração de Secagem, Retração de Queima, Retração Total e Absorção de Água de tratamentos com 100%, 70%, 50% e 20% de lodo, além da massa padrão. Com os resultados em corpos de prova foi confeccionado o bloco cerâmico com 20% e 5% de lodo, onde foi feita uma inspeção visual, características geométricas, índice de absorção de água e resistência a compressão, todas as metodologias seguindo a NBR 15270:2017. Os testes em corpo de prova demonstraram quem seria inviável o uso de 100% de lodo, sendo o resultado que mais se aproxima do padrão estabelecido pela ABNT para blocos cerâmicos de vedação foi o tratamento com 20% de lodo, onde mesmo a umidade ainda sendo próximo do dobro da massa padrão a retração e queima foram bem próximas a massa padrão. Os blocos cerâmicos confeccionados com lodo tiveram resultados bem próximos do bloco padrão, principalmente quando se trata da absorção de água e resistência a compressão, sendo esses os fatores mais importantes quando se trata de blocos cerâmicos do tipo vedação. Com este estudo pode-se concluir que é possível o uso de lodo na fabricação de blocos cerâmicos na proporção de 20% e 5%.

Palavras-chaves: sustentabilidade; resíduos sólidos; construção civil; reuso.

ABSTRACT

Sludge generated at the Water Treatment Plant (ETA), which is the residue mainly formed in the decanter or the filter, is a material composed of solid, organic and inorganic substances, which is most often disposed of incorrectly in water bodies further polluting the environment. There are some options for the use of sludge from ETA, such as disposal in landfills and the incorporation in ceramic blocks that can be used in agricultural constructions. This last one is in expansion, many agricultural constructions like stables, small places of storage of inputs can be constructed with the call ecological ceramic blocks, in which the incorporation of different types of residues, in this case mud. In view of this scenario the objective of this work is to propose a feasibility study on the use of sludge being added in a ceramic block, thus verifying its viability in agricultural construction. The analyzes were done in the laboratory of a ceramics industry, initially it was carried out test in test bodies, where it was evaluated the plasticity, granulometry and Bigot's Curve, besides the primary analyzes of Moisture, Loss to Fire, Total Loss, Retraction of Drying, Burn Retention, Total Retention and Water Absorption of treatments with 100%, 70%, 50% and 20% of sludge, in addition to the standard mass. With the results in test specimens, a ceramic block with 20% and 5% of sludge was made, where a visual inspection, geometric characteristics, water absorption index and resistance to compression were made, all methodologies following NBR 15270: 2017. The tests in the test specimen showed that 100% of sludge could not be used, and the result that is closest to the standard established by ABNT for ceramic ceramic blocks was the treatment with 20% sludge, where even moisture close to double the standard mass the retraction and burning were very close to the standard mass. The ceramic blocks made with mud had results very close to the standard block, especially when it comes to water absorption and compressive strength, these being the most important factors when it comes to ceramic blocks of the type seal. With this study it can be concluded that it is possible to use sludge in the manufacture of ceramic blocks in the proportion of 20% and 5%.

Keywords: sustainability; solid waste; construction; reuse.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a agricultura mundial consome 70% do montante de toda a água consumida no planeta. No Brasil este número sobe para 72% e cresce à medida que o país é menos desenvolvido.

Desta forma, pode-se ter uma noção do impacto que a falta ou má qualidade desse recurso causaria na agricultura e na saúde humana. Assim, o gerenciamento do uso da água bem como dos resíduos gerados a partir do beneficiamento/purificação da mesma tem sido um dos maiores desafios de pesquisadores e líderes governamentais nos últimos anos.

Tradicionalmente, no Brasil, quando o assunto é o tratamento de esgoto e água, a maior preocupação tem sido em relação à destinação dos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e Estações de Tratamento de Água de abastecimento (ETAs), sendo esse um problema que na sua maioria tem apenas dois destinos: direcionados para o depósito em aterros sanitários (principalmente o lodo gerado nas ETEs) ou sendo manobrado pelas empresas de saneamento, que acabam lançando o lodo diretamente em cursos d'água (principalmente o lodo gerado nas ETAs) direcionando para as ETEs, o que além de sobrecarregar a estação agrava ainda mais a questão ambiental.

Direcionando para as ETEs, as mesmas ficam sobrecarregadas afetando desta forma a qualidade final da água devolvida para o meio ambiente, que apesar de estarem dentro dos padrões de qualidade exigidos pelos órgãos fiscalizadores, seus indicadores de qualidade ficam muito próximos do limite, podendo desta forma prejudicar a qualidade da água tratada.

O lodo gerado nas ETAs é composto por substâncias sólidas, orgânicas e inorgânicas, que são provenientes da água bruta e de coagulantes e floculantes que são utilizados no tratamento dessa água, sendo este removido da ETA periodicamente, após a limpeza dos decantadores e filtros, que são os locais onde esse resíduo se acumula. Para garantir a eficiência do tratamento de água, é necessário seguir as seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação e filtração.

Existem algumas alternativas para a destinação correta, ou mais sustentável do lodo, como por exemplo, a incorporação em materiais de construção civil, a disposição em aterros sanitários e a aplicação controlada no solo.

O aproveitamento do lodo já é feito em outros países há bastante tempo, sendo o reuso agrícola o método mais empregado. No Brasil as alternativas de reuso ainda são pouco utilizadas e a destinação mais comum é o aterro sanitário.

As construções rurais são de grande importância em qualquer tipo de planejamento para fomento de atividades agropecuárias. Seja na criação de animais, seja na agricultura em geral, seu campo de atuação é bastante amplo, visando ao aumento da produtividade, através de métodos de racionalização da produção, podendo-se citar as instalações para animais, armazenamento e beneficiamento da produção, aproveitamento de subprodutos, industrialização e mercado, como os principais.

Os materiais de construção podem ser simples ou compostos, obtidos diretamente da natureza ou podem constituir o resultado de trabalho industrial. Deve-se conhecê-los, pois de sua escolha depende parte da solidez, durabilidade e beleza das obras. Além disso, não basta que qualquer construção atenda apenas a esses três requisitos - também o fator econômico pesa bastante na escolha do material.

Diante deste cenário onde há a geração de um resíduo com grande potencial de ser utilizado com uma demanda já existente, porém com poucos estudos, testes e informações, surgiu a motivação para a elaboração deste trabalho, que se traduz no reaproveitamento do resíduo – lodo para utilização direta na construção civil.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade de uso de lodo gerado na ETA, adicionado em bloco cerâmico potencialmente utilizado em construções rurais.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar as condições ideais do lodo para ser utilizado na elaboração do bloco ecológico;
- Estudar a possibilidade da substituição de parte da argila utilizada na confecção de bloco cerâmico;
- Avaliar a eficiência do estudo preliminar em corpos de prova;
- Avaliar a viabilidade de produção de um bloco com o máximo possível de aproveitamento de resíduo;
- Avaliar a qualidade do lodo gerado pela ETA;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Resíduos sólidos

Quando se trata do assunto meio ambiente, pode-se dizer que a gestão dos resíduos sólidos é um dos mais importantes, e não é de hoje que existe uma preocupação com o que a expansão populacional urbana provoca, o aumento na demanda de produtos, bens e serviços, e a conseqüente elevação da necessidade do crescimento industrial, que leva também ao aumento na geração de resíduos (PORRAS; ISAAC; MORITA, 2007).

Segundo a norma “NBR 10004:2004- Resíduos Sólidos- Classificação” da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, resíduos sólidos são: resíduos nos estados sólidos e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

A finalidade adequada de resíduos passou a ser primordial para a preservação ambiental, surgindo assim a necessidade de se desenvolverem mecanismos para promover a conscientização e a busca de soluções para a implantação de novas tecnologias que sejam capazes de, ao mesmo tempo, minimizar os impactos decorrentes do descarte destes resíduos no ambiente e reduzir os custos envolvidos nessa atividade (NAUMOFF; PERES, 2000).

Nesta visão, a reciclagem de resíduos é fundamental para uma sociedade apoiada no desenvolvimento sustentável, capaz de atender as necessidades do conjunto da população atual sem comprometer a sobrevivência de gerações futuras. Dessa forma, o desenvolvimento de estudos voltados à reciclagem e/ou reutilização dos resíduos representa uma alternativa capaz de contribuir para a utilização de matérias-primas alternativas, menor agressão ao meio ambiente, pois utiliza produtos menos processados e diminuir os custos finais dos setores industriais geradores e consumidores de resíduos, além de preservar o ambiente (ENBRI, 1994).

3.2. O lodo das estações de tratamento de água (ETA)

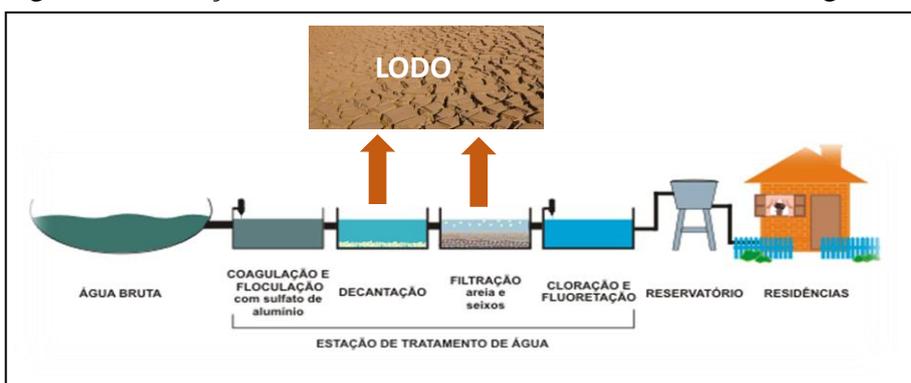
A busca por alternativas econômica e tecnicamente viáveis, além de ambientalmente vantajosas para a destinação final do lodo de ETA, é um grande desafio desde sua criação. A possibilidade da utilização benéfica pode ser considerada uma oportunidade para aumentar a receita das empresas de saneamento, mas principalmente,

reduzir custos e impactos ambientais associados a este resíduo (TSUTUYA; HIRATA, 2001).

3.2.1. Origem, composição e classificação

O tratamento utilizado pela grande maioria das ETAs brasileiras é o sistema do tipo convencional (Figura 1), ou seja, aquele que gera basicamente dois tipos de resíduo, sendo eles o lodo retirado na lavagem dos filtros e o proveniente da limpeza dos decantadores. Na maioria das ETAs, esses resíduos são lançados nos corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento, no processo de tratamento de água convencional são gerados, portanto rejeitos nos decantadores e filtros, em função de questões operacionais e de projeto (CORDEIRO, 1993).

Figura 1. Ilustração do sistema convencional de tratamento de água.



Fonte: adaptada de aguasdegraramirim.com.br

A quantidade e qualidade desses resíduos apresentam características distintas e depende de fatores como a qualidade da água bruta a ser tratada (cor, turbidez, sólidos em suspensão), do tipo e dosagem dos produtos químicos utilizados, da frequência de remoção de lodo dos decantadores, e da frequência da lavagem dos filtros. Além disso, deve-se considerar ainda que, um mesmo manancial pode apresentar variações nas características de sua água, provocando alterações nas quantidades produzidas de lodo (ALÉM SOBRINHO, 1993).

No caso do tratamento de água, o lodo é composto basicamente por água, microorganismos, sólidos orgânicos e não orgânicos e sólidos do coagulante utilizado no processo, ao sair da estação de tratamento de água, o lodo contém 90% de água podendo haver uma redução através de um processo de desidratação, onde a concentração de sólidos pode aumentar para 65% (SCALIZE, 2003).

3.2.2. Tratamento do lodo

Esses resíduos gerados nas estações possuem elevada umidade e para se trabalhar com eles é necessária a redução de seu volume para facilitar sua disposição diminuindo custos com transportes e disposição final e, com isso, os riscos de poluição do meio ambiente.

O tratamento do lodo de ETA é realizado através das seguintes operações e processos de separação sólido-líquido: adensamento, desaguamento, estabilização e higienização.

O adensamento e o desaguamento visam o aumento da concentração de sólidos e a redução do volume de lodo que se dá perante a retirada de água do mesmo, facilitando assim seu transporte para o local onde será aproveitado.

O adensamento consiste na primeira operação unitária para remoção de água do lodo, que pode ser feita com ou sem ajuda de polímeros. Pode ser realizado por gravidade ou por meio mecânico (CHAVEZ, 2007).

O desaguamento pode ser feito por secagem térmica, sendo o processo de redução de umidade através de evaporação de água para a atmosfera com a aplicação de energia térmica. Neste, pode-se obter teores de sólidos da ordem de 90% a 95%.

Outro processo para efetuar desaguamento dos lodos é o leito de secagem, sendo considerado econômico e de fácil manutenção (ACHON et al., 2005).

Segundo Cordeiro (2000), é o método mais utilizado para o desaguamento de lodos nos EUA. O processo se dá por evaporação e remoção natural de água livre. Pode aumentar consideravelmente o teor de sólidos do material, facilitando o manuseio in situ e diminuindo-se gastos com transporte até o local de disposição escolhido.

A estabilização do lodo tem por finalidade reduzir a quantidade de micro-organismos, eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação; já a higienização busca garantir um nível de patogenicidade do lodo que, ao ser disposto no solo, ou utilizado para outras finalidades não cause riscos à população e ao meio ambiente.

Somente após estes processos o lodo estará pronto para ser transportado. O tempo para conclusão da higienização depende do tipo de processo adotado pela unidade de gerenciamento e de sua eficiência, variando de zero, na secagem térmica, a 30 a 60 dias.

Após o tratamento, o lodo poderá ser utilizado de diversas maneiras, como na agricultura, silvicultura, na recuperação de áreas degradadas, construção de telhados

verdes, controle de erosão, na fabricação de materiais de construção, pavimentação, dentre outras. Para tal, é imprescindível o tratamento adequado de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305/10 (PNRS), evitando graves impactos ao meio ambiente e aos seres vivos.

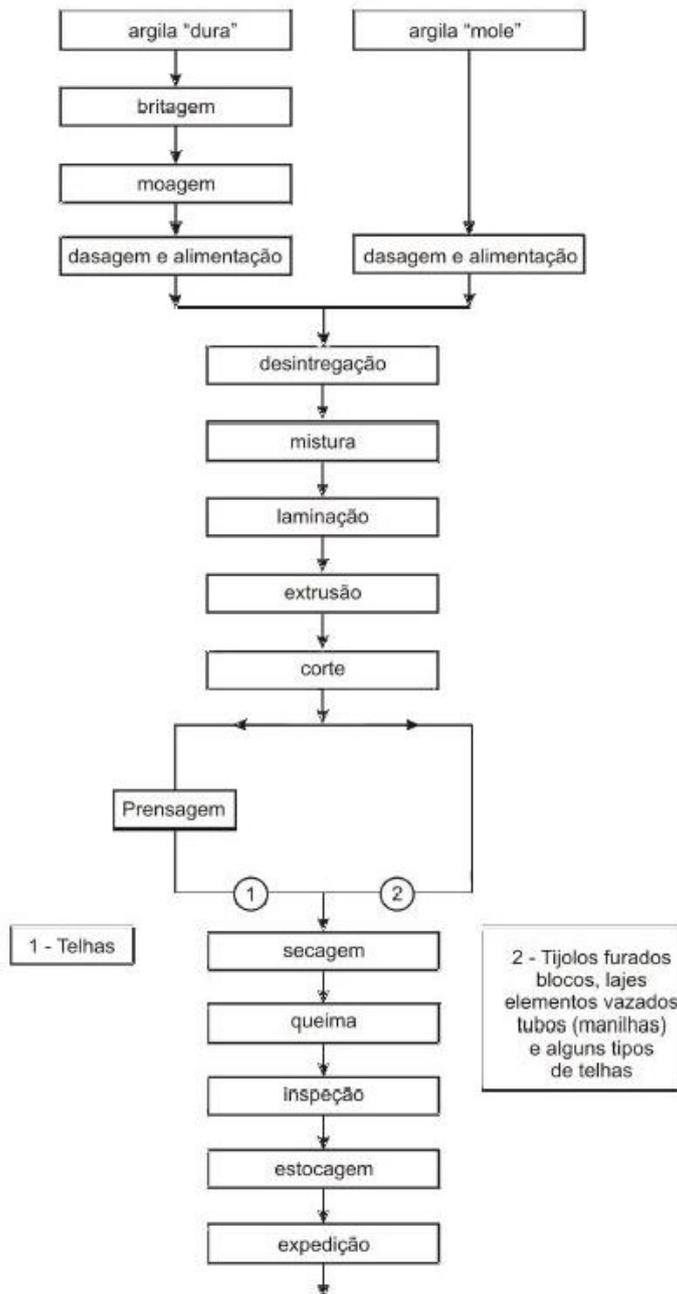
Os resíduos de ETAs possuem características físicas e químicas e os níveis de concentração dos contaminantes presentes frequentemente estabelecem as opções possíveis de sua aplicação e disposição final, portanto é necessário anteriormente conhecer a composição e características do lodo que será estudado (CORDEIRO, 2000).

As características da água bruta irão determinar a presença de material orgânico e inorgânico em maior ou menor quantidade. Em geral, a maior parcela é de natureza inorgânica formada por areia, argila e silte, e a parte orgânica é geralmente constituída por bactérias, protozoários, vírus, substâncias húmicas que conferem cor a água, organismos planctônicos, entre outros. Dependendo dessas características, os resíduos das ETAs podem aumentar o grau de poluição e contaminação dos corpos receptores, contribuindo para a crescente degradação do meio ambiente e perda da qualidade de vida das populações existentes a jusante desses lançamentos (SCALIZE, 2003).

3.3. Tecnologias de fabricação do bloco cerâmico ecológico

Para entender em qual momento o lodo pode ser adicionado é necessário conhecer as etapas do processo produtivo da cerâmica vermelha. Elas se organizam da seguinte forma: Pesquisa da jazida (área a ser explorada); Extração da matéria-prima; Sazonamento; Preparação da massa; Conformação das peças; Secagem; Queima; Classificação dos produtos e Expedição, como pode ser visto na figura 2 (PASCHOAL, 2003).

Figura 2. Fluxograma de produção de cerâmica vermelha.



Fonte: <https://abceram.org.br>

Para este trabalho será detalhada a etapa de preparo da massa, secagem, queima e classificação, pois são as etapas onde são realizadas análises críticas da qualidade do produto.

3.3.1. Preparação da massa

Os materiais cerâmicos são geralmente fabricados a partir da composição de duas ou mais matérias-primas, além de aditivos e água ou outro meio. Mesmo no caso

da cerâmica vermelha (entende-se por cerâmica vermelha todos os materiais com coloração avermelhada utilizados na construção civil - tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas), para a qual se utiliza apenas argila como matéria-prima (dois ou mais tipos de argilas com características diferentes podem entrar na sua composição) (MÁS, 2003).

Raramente emprega-se apenas uma única matéria-prima. Dessa forma, uma das etapas fundamentais do processo de fabricação de produtos cerâmicos é a dosagem das matérias-primas e dos aditivos, que devem seguir com rigor as formulações de massa (REIS, 2007).

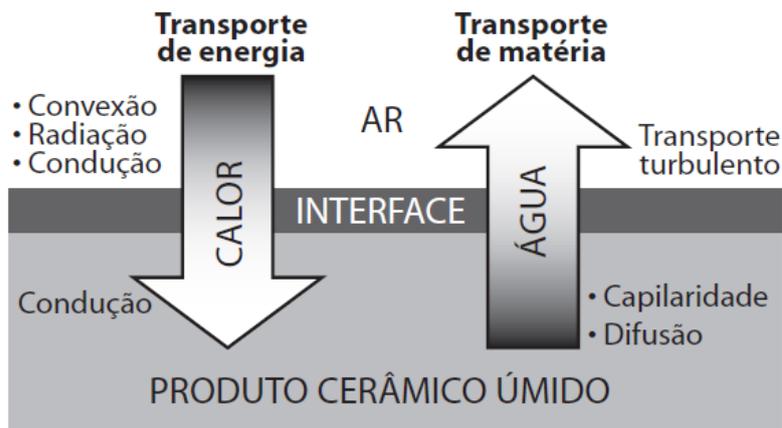
3.3.2. Secagem

A extrusão, que é a modelagem da massa, só é possível se realizada com massa cerâmica em estado plástico. O teor de umidade necessário para a extrusão depende das características da massa cerâmica e do maquinário. Generalizando, assume-se que a umidade de conformação está em torno de 21% (EMILIO, 2004).

As peças cerâmicas secas adquirem uma boa resistência mecânica, o que facilita o manuseio e reduz as quebras. Somente após a secagem, é que as peças estão prontas para suportarem as altas temperaturas da queima, sem sofrerem danos como estouros, trincas, empenamentos e quebras que seriam provocados pela presença de umidade, como pode ser visto na figura 3.

Para se obter ótima produtividade e qualidade na secagem, com sensível redução de perdas, é necessário compreender os fenômenos envolvidos na secagem, conhecer as propriedades da matéria-prima que será processada e traçar a curva de secagem adequada (SANTOS, 1975).

Figura 3. Transporte de energia e matéria durante a secagem de um produto cerâmico.



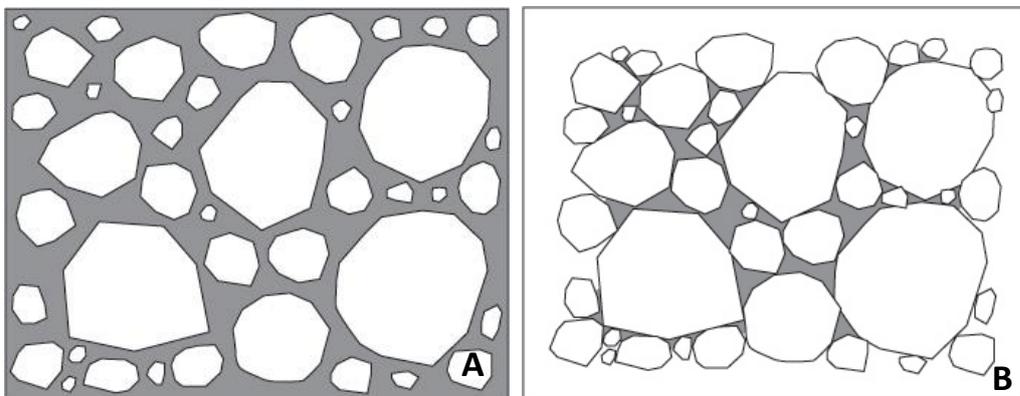
Fonte: MONTEIRO, 2007.

A secagem é uma das operações mais importantes da fabricação de peças cerâmicas e requer cuidados especiais para garantir que a água contida nos produtos seja, lenta e uniformemente, eliminada por toda a massa cerâmica. Se a secagem não for uniforme e muito rápida, ocorrerão defeitos na cerâmica como empenamentos e trincas. Muitos defeitos produzidos pela secagem serão visíveis somente após a queima (VIEIRA; FEITOSA; MONTEIRO, 2003).

A secagem promove a evaporação da água de conformação contida no interior da peça cerâmica antes de ser queimada. Esta água pode estar distribuída no material de duas formas: Água Livre ou Água de Plasticidade e Água Intersticial ou Água Capilar.

1. A Água de Plasticidade (ou água livre) é aquela que está dispersa entre as partículas argilosas, separando-as, lubrificando-as e conferindo-lhes a plasticidade, quando a água livre vai sendo removida através da secagem do interior da cerâmica, os grãos vão se aproximando até se tocarem. Nesse processo, enquanto a água livre vai sendo removida, desenvolve-se a retração na cerâmica, esta retração cessa quando os grãos se tocam.
2. A Água Intersticial (ou água capilar), é a água que ainda resta no interior dos poros (canais e cavidades) entre as partículas argilosas quando a água livre foi eliminada e a retração da cerâmica cessou, a qual deve ser removida pelo processo de secagem.

Figura 4. Esquema exemplificando a presença de água livre e água intersticial, onde A representa partículas de argila envolvidas pela água livre e B partículas de argila se tocando devido a perda da água livre, restando entre elas a água intersticial.



Fonte: MONTEIRO, 2007.

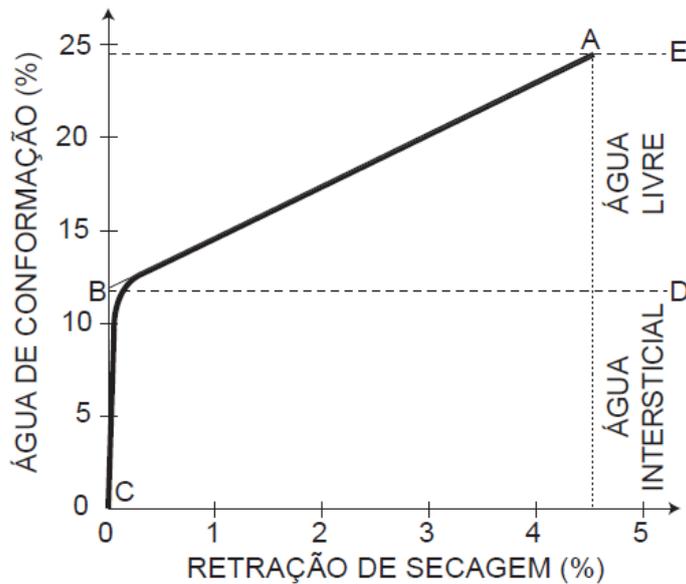
Quando a água livre vai sendo removida através da secagem do interior da cerâmica, os grãos vão se aproximando até se tocarem. Enquanto a água livre vai sendo removida, desenvolve-se a retração na cerâmica. Esta retração cessa quando os grãos se tocam. A aproximação das partículas promove a contração das peças cerâmicas durante a secagem (NORTON, 1973). Essa representação da perda de água no processo de secagem pode ser vista na figura 4.

3.3.3 Curva de Bigot

As retrações ocorridas durante a secagem geram tensões no interior da peça cerâmica, que podem levar ao aparecimento de defeitos e comprometer a qualidade da cerâmica. Além disto, a má secagem gera grandes perdas durante a queima, desta forma, é de grande importância o conhecimento tecnológico da secagem em peças cerâmicas. Este pode ser obtido através de testes em corpos-de-prova e suas medições e resultados plotados em um gráfico chamado Curva de Bigot (VIEIRA, MONTEIRO, FILHO, 2001).

O conhecimento da Curva de Bigot auxilia no estabelecimento do ciclo de secagem, permitindo otimizar o tempo de secagem (evitando o surgimento de defeitos nas cerâmicas) e evitando a secagem por tempos muito longos (o que implicaria num aumento de custo de processo). A Curva de Bigot é a representação gráfica da evolução da retração linear em função da perda de água ocorrida com a secagem da cerâmica.

Figura 5. Curva de Bigot.



Fonte: MONTEIRO, 2007.

Na figura 5, o ponto A representa o início da secagem. A projeção deste ponto na ordenada (Água de Conformação) equivale a umidade que as peças apresentam no início da secagem. Projetando o ponto A na abscissa (Retração de Secagem), obtém-se a retração total que sofrerá esta cerâmica com este teor de água de conformação. Conforme a Curva de Bigot exemplificada anteriormente, as peças cerâmicas contêm 24,5% de umidade de extrusão no início da secagem e a secagem completa desta umidade representa uma retração linear total de 4,5% (NORTON, 1973).

A primeira fase da secagem corresponde ao segmento AB. Nesta primeira fase, a cerâmica perde a água livre. Esta é a fase mais problemática da secagem, pois a perda de água livre é acompanhada de retração e a retração pode provocar empenamentos e trincas.

A segunda fase da secagem corresponde ao segmento BC e equivale a perda de água intersticial. Teoricamente, o ponto B deveria situar-se no eixo da ordenada, indicando ausência de retração de secagem a partir da perda de água intersticial. Na prática, nem todas as partículas entram em contato ao mesmo tempo, já que a superfície da peça seca com mais rapidez do que seu interior (VIEIRA, MONTEIRO, FILHO, 2001).

A medida que o restante de água de plasticidade evapora, a água intersticial torna-se predominante e a retração deixa de ocorrer completamente. Considera-se,

portanto, que o ponto D separa a primeira fase da segunda. A água livre corresponde ao segmento DE e a água intersticial corresponde ao segmento DC. Denominado D de ponto crítico ou umidade crítica (VIEIRA, MONTEIRO, FILHO, 2001).

Conforme a curva exemplificada anteriormente, a partir do início da secagem, a cerâmica perde 13,6% de água livre, o que equivale a 24,5% (ponto E) menos 10,9% (ponto D). Quando a umidade chegar a 10,9% (umidade crítica), atingiu o ponto crítico e daí por diante perderá somente água intersticial. A partir do ponto crítico não ocorrerão mais retrações e tensões internas até que toda água de conformação tenha sido evaporada (VIEIRA, MONTEIRO, FILHO, 2001).

3.3.4 Queima

A queima é a última etapa do processo de fabricação de cerâmicas e tende a ser vista como a etapa mais importante e também a mais cara.

Esse custo da queima se deve ao elevado custo para o suprimento da fonte térmica, visto que a queima é um processo essencialmente energético. A queima industrial de cerâmicas implica na aplicação de grande quantidade de energia, consumindo altos volumes de combustível a ser escolhido pela empresa (SANTOS, 1989).

Este combustível pode ser óleo, gás ou lenha, sendo a lenha o combustível mais acessível às cerâmicas brasileiras. As empresas cerâmicas de hoje têm que enfrentar a escassez da lenha e a obrigatoriedade legal que lhe impõe a responsabilidade de equilibrar ecologicamente os impactos gerados com a exploração vegetal, geralmente feito por meio de um Plano de Manejo Florestal (SUSTENTABILIDADE, 2007).

Independente da fonte energética, os custos energéticos destinados a obtenção de calor são dos mais altos dentre todos os custos de processamento de cerâmicas. Nessa etapa pode-se ainda encontrar problemas antes mascarados ou decorrentes do mal controle da qualidade, gerando possíveis defeitos que põem em risco todo trabalho feito anteriormente e os recursos consumidos em todas as etapas do processamento cerâmico, do início ao fim (MORETE; PARANHOS; HOLANDA, 2006).

Desta forma é fundamental conhecer as transformações que ocorrem com a matéria-prima argilosa quando levada à queima. Também é importante programar a queima, levando-se em consideração o produto, o tipo de forno, o arranjo das peças, o consumo de insumos e a curva de queima.

A queima gera uma série de reações químicas e físicas, provoca variações nas propriedades físico-químicas e mecânicas da peça cerâmica, diferenciando-se de acordo com a matéria-prima utilizada na fabricação.

3.4 Bloco cerâmico ecológico

A indústria cerâmica é um setor de extrema importância econômica para o Brasil. Estima-se que tenha um faturamento médio de 4,2 bilhões de reais e é responsável pela geração de 214 mil empregos diretos com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em 1%, correspondendo a cerca de 6 bilhões de dólares. Além disso, mesmo com a recente crise a construção civil no país tem aumentado consideravelmente, sendo um dos principais motores do setor industrial (JUNIOR, 2017).

Tais dados demonstram um cenário favorável do ponto de vista econômico para a incorporação do lodo em blocos de barro cozido, sem falar do ponto de vista ambiental e social.

Devido a possibilidade da indústria cerâmica em aceitar novos materiais em sua composição como componentes na matéria-prima, uma das alternativas promissoras de destinação correta desse material é a incorporação em materiais cerâmicos (ARAÚJO, 2008).

Os blocos cerâmicos ecológicos correspondem a uma inovação na área de materiais de construção, sendo estes materiais capazes de provocar uma revolução nas estruturas de alvenaria e construção civil, essas peças visam a sustentabilidade e a preocupação com a preservação do meio ambiente, sem levar em consideração como mencionado acima a viabilidade econômica de sua fabricação (DUARTE, 2008).

Um dos principais atrativos dos blocos cerâmicos ecológicos são os seus baixos índices de poluição, pois não utilizam argila pura, que é extraída do fundo de várias encostas de rios, impactando a vegetação ao seu redor. Apenas o fato de diminuir o teor de argila já seria um grande benefício, evitando a degradação dessas áreas de encostas, porém o benefício se torna ainda maior quando o material substituto for um resíduo, pois o mesmo deixa de ser descartado (INGUNZA et al., 2008).

3.5. SAAE - Sistema de Abastecimento de Água – município de Itapira - SP

O sistema de abastecimento de água do município é gerido por uma autarquia denominada SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto possuindo atualmente uma estrutura, conforme Tabela 1, com atendimento de 100 % da comunidade.

Tabela 1. Estrutura do Sistema de Abastecimento de Água de Itapira

Sistema Produtor	1 ETA 1 captação superficial (Ribeirão da Penha) 6 captações subterrâneas
Produção	597 m ³ /mês
Reservação	9.730 m ³
Nº de ligações	21.554 unidades
Rede de Água	272 km
Tratamento	Físico-químico / Cloro / Flúor

A ETA de Itapira é locada em um prédio de dois andares, onde se encontra no andar térreo os conjuntos moto-bombas que recalcam a água tratada para os reservatórios de distribuição. No primeiro andar encontra-se o laboratório, onde são realizadas as análises de rotina, o vertedor que recebe água bruta para tratamento, os floculadores compostos de oito câmaras que se interligam, os decantadores totalizando quatro unidades, os filtros rápidos no total de seis unidades e o tratamento final composto por cloração, fluoretação e correção de pH, conforme ilustrado nas figuras 6 a 11.

Figura 6. VERTEDOIRO: Recebe a água enviada pela captação, aplicação de Policloreto de Alumínio (PAC), efetuar a pré-cloração (adição de Cloro) na entrada da água IN-NATURA.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 7. CALHA PARSHALL: Quantificar o volume de água bruta que está chegando na ETA e misturar o PAC adicionado no vertedouro.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 8. 8 CÂMARAS DE FLOCULADORES: Agitação e formação dos flóculos ou coágulos.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 9. 4 DECANTADORES: Realizam o processo de decantação dos flóculos formados.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 10. 6 FILTROS: Composto por camadas de areia de diferentes granulometrias para reter as partículas que não decantaram.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 11. POÇO DAS BOMBAS: Local onde estão instaladas as bombas de sucção responsáveis pela distribuição da água tratada para a rede e reservatórios.



Fonte: arquivo pessoal.

A ETA de Itapira é do tipo convencional de ciclo completo e contempla apenas o objetivo de produção de água potável para abastecimento público não evidenciando nenhuma preocupação e previsão técnica para o tratamento da fase sólida. Até o ano de 2016 a ETA lançava todos seus rejeitos diretamente no corpo d'água mais próximo denominado Ribeirão da Penha, ponto este a jusante da sua captação.

A partir de então, foi construída uma estação específica para realizar a secagem do lodo, principal resíduo, interligada à ETA. Essa estação tem a função apenas de receber o lodo da ETA, fazer a secagem do mesmo e deixar disponível para sua retirada e destinação final, conforme figuras 12 a 16.

Figura 12. Visão geral da ETA de secagem do lodo em Itapira.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 13. Tanque de recebimento do lodo da ETA do SAAE em Itapira.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 14. Tanque de decantação do lodo.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 15. Vista geral da central de máquinas da ETA de secagem do lodo.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 16. Saída do lodo já seco pronto para a destinação final.



Fonte: arquivo pessoal.

Atualmente o município de Itapira destina seu lodo integralmente para o aterro sanitário no município de Paulínia, uma vez que o “Lodo da ETA“, de acordo com os resultados obtidos em análises laboratoriais a fim de se obter a periculosidade deste resíduo, foi classificado como Classe II A - Resíduo Não Inerte.

3.6. Principais materiais utilizados em construções rurais

A escolha dos materiais durante uma construção, seja ela civil ou rural é fundamental para o sucesso da obra, sendo que os fatores mais observados nesta escolha estão relacionados à solidez, durabilidade, custo e aparência.

As condições econômicas de um material de construção dizem respeito à facilidade de aquisição e emprego do material, aquela dependendo de sua obtenção e transporte, e esse de sua manipulação e conservação (TEIXEIRA, 1990).

As condições técnicas (solidez, durabilidade e beleza) são examinadas especialmente quanto à durabilidade, trabalhabilidade, higiene e estética, sendo que a durabilidade resulta na estabilidade e resistência a agentes físicos, químicos e biológicos, oriundos de causas naturais ou artificiais. A saúde e o bem-estar do usuário da construção são fatores relacionados aos requisitos de higiene. O fator estético é observado quanto ao aspecto do material colocado, sua aparência, beleza (SOUZA, 1997).

Os materiais utilizados em construções podem ser classificados em simples e compostos, sendo obtidos diretamente da natureza ou podem constituir o resultado de trabalho industrial. Os principais materiais utilizados em construções rurais podem ser divididos entre os materiais convencionais (agregados, aglomerantes, argamassas, concreto, cerâmicos, madeira, metais/siderúrgicos e plástico) e materiais alternativos (utilizados em bioconstruções como bambu, fibras vegetais, solo-cimento, entre outros) (CHAVEZ, 2007).

3.6.1. Possibilidade de uso do bloco cerâmico ecológico em construções rurais

Os produtos cerâmicos compreendem todos os materiais de construção produzidos artificialmente com argila cozida. Os produtos cerâmicos submetem-se os tijolos em suas mais variadas formas, telhas, ladrilhos para pisos e manilhas e é nesse tipo de material que é possível o uso do bloco cerâmico ecológico.

Os tijolos podem ser crus, quando não sofrem cozeduras, sendo simplesmente secos ao ar ou ao sol e são utilizados em construções modestas. Se houver a possibilidade de incorporação do lodo de esgotos na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas, o que se tem mostrado uma alternativa viável de destinação adequada, ela pode ser feita nesses casos (CORDEIRO, 1993).

O lodo é adicionado ao processo durante a etapa de preparação da massa cerâmica e auxilia na correção de umidade. Isso pode ser feito manualmente, com pás carregadeiras, ou em olarias mais tecnificadas, utilizando-se equipamentos apropriados (BLUTTER, 2003).

Pesquisas demonstram que é possível utilizar o lodo de esgoto como substituto a agregados leves (areias, pequenas pedras) na fabricação de cimentos e concretos, bem como peças feitas desses materiais (blocos cerâmicos). Adicionar cinzas do lodo ao processo produtor de cimento reduz o custo de produção e, como o cimento é o componente mais caro do concreto, também reduz os custos deste item indispensável na construção civil e rural (DIAS, 2004).

3.7. Cerâmica

A Cerâmica parceira deste trabalho, fundada em 1976, está há mais de 40 anos no mercado. É tradicional na fabricação de lajotas e em meados de 1995, teve início a produção de uma completa linha de blocos estruturais, blocos de vedação e canaletas atendendo todo o Estado de São Paulo e Estados vizinhos.

A empresa possui como meta a busca permanente de soluções construtivas que venham atender a evolução e industrialização da construção civil, desenvolvendo e investindo na qualidade dos produtos (Figura 17), com constante controle laboratorial, como características dimensionais, espessura, esquadro, planeza, absorção de água e de resistência a compressão, conforme as normas técnicas: NBR 15270-1/2005 Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação – Terminologia e requisitos; NBR 15270-2/2005 Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural – Terminologia e Requisitos; NBR 15270-3/2005 Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural e Vedação – Métodos de Ensaio.

Figura 17. Imagens Cerâmica.



Fonte: arquivo pessoal.

A cerâmica propõe ainda a exploração racional dos recursos minerais com o manuseio consciente e responsável das jazidas de argila com planos de lavra e recuperação das áreas exploradas e prioriza a preservação do meio ambiente, utilizando em seus fornos apenas matéria vegetal de reflorestamento, preservando assim as florestas e o ecossistema, desta forma a empresa possui o Selo 'Empresa Amiga da Natureza'.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente neste trabalho foi utilizado o lodo logo após sua retirada do tanque de decantação, sem passar por qualquer outro tipo de processo, como o de secagem (como é feito na maioria dos municípios – Figuras 18 A e B).

Figura 18. A: Tanque de decantação com lodo úmido; B: Captação lodo úmido.



Fonte: arquivo pessoal.

De posse deste material, o mesmo foi levado para uma olaria no município de Socorro – SP. Essa olaria, apresenta uma produção em torno de 120 mil unidades por mês, comumente chamada de “olaria tradicional” (Figura 19), tem um processo de fabricação pouco tecnificado e sem sistemas de medição dos parâmetros de umidade, temperatura e resistência, como em uma olaria/cerâmica de escala industrial.

Figura 19. Olaria tradicional – Socorro-SP.



Fonte: arquivo pessoal.

Nessa primeira intenção de teste, alguns pontos foram levados em consideração como: ausência de sistema de medição e controle e qualidade/condição do lodo in natura. O lodo in natura, sem prévia secagem, com aproximadamente 90% de água, torna-se inviável para a mistura para produção de bloco. Ainda foi realizada a tentativa de deixar o lodo secar em condição ambiente, o que requereu muito tempo devido a variabilidade climática ao longo dos dias (incluindo alguns dias de chuva), descartando definitivamente esta opção. Além disso, a ausência dos sistemas de medição de temperatura na secagem e nos fornos de queima tornaria este trabalho com teor mais empírico do que científico.

Diante destas dificuldades, houve a necessidade de buscar alternativas para dar continuidade ao trabalho. Uma vez que a principal condicionante para que fosse possível, ao menos acrescentar o lodo na mistura da massa para fabricação de bloco, a opção foi encontrar algum município que fizesse uma secagem prévia deste lodo antes do descarte final. Assim, encontrou-se o município de Itapira – SP, que possui uma estação específica para fazer a secagem do lodo ligada/alimentada pela estação de

tratamento de água do município, tornando possível a obtenção do material em condição de reuso para a fabricação dos blocos, objeto de estudo deste trabalho.

4.1 Caracterização e produção do lodo

A produção global de resíduos de uma ETA pode ser estimada utilizando-se valores típicos apresentados na literatura por equações empíricas ou através de medição direta com o uso de amostradores ou anotações da operação da Estação.

A produção de sólidos gerados no tratamento de água está diretamente associada preponderantemente a 3 fatores:

- (1) Qualidade da água bruta aduzida;
- (2) Aos produtos químicos utilizados na ETA;
- (3) Processo de tratamento empregado.

A figura 20 ilustra a camada de lodo adensado no fundo do Decantador.

Figura 20. Decantador com lodo da ETA em Itapira – SP.



Fonte: Maximus Engenharia e Consultoria Ltda.

A massa de sólidos gerada no processo de tratamento de água é calculada, a partir de modelos matemáticos que normalmente correlacionam a turbidez da água bruta, como forma de se medir indiretamente o teor de sólidos suspensos presentes na água bruta aduzida para tratamento, bem como a dosagem e o tipo do coagulante

empregado, ou seja, conversão do coagulante em precipitado. Contudo, os dados fornecidos durante o período de execução deste trabalho de acordo com as medições específicas realizadas pelo SAAE de Itapira juntamente com a Maximus Engenharia e Consultoria Ltda., atualmente o volume de lodo gerado fica em torno de 1.000 kg por dia, correspondendo a 5×10^{-3} litros de lodo por litro de água tratada no município.

4.1 Estudo da produção de lodo da ETA

Foi realizado um estudo preliminar com acompanhamento da produção do lodo da ETA de Itapira, onde são realizadas diversas análises periódicas seguindo as normativas NBR 10004:2004 da ABNT – Classificação de Resíduos Sólidos; NBR 10005:2004 da ABNT – Ensaio de Lixiviação e NBR 10006:2004 da ABNT – Ensaio de Solubilização, que ainda classifica o resíduo conforme a NBR 10004.

4.2 Proporção estudada

O presente estudo definiu como proporção a ser investigada na confecção dos blocos cerâmicos, a adição de 100%, 70%, 50% e 20% de lodo na mistura para fabricação do bloco cerâmico.

Foram confeccionados corpos de prova com as respectivas dosagens e identificados, sendo efetuados os ensaios físicos e mecânicos:

- Testemunha sem lodo: Massa Padrão - 23,64% Taguá/cascalho + 36,36% Argila Fraca (Várzea) + 40% Argila Forte (Cinza) + 1,5% de óleo;
- 100% de lodo
- 70% de lodo: 70% Lodo + 15% Argila Forte + 15% Argila Fraca + 1,5% de óleo;
- 50% de lodo: 50% Lodo + 25% Argila Forte + 25% Argila Fraca + 1,5% de óleo;
- 20% de lodo: 20% Lodo + 40% Argila Forte + 40% Argila Fraca + 1,5% de óleo;

4.3 Caracterização do lodo

Análises periódicas do lodo foram feitas em laboratório terceirizado, onde o mesmo emite um laudo de classificação do resíduo, as análises realizadas são as descritas abaixo e o relatório completo está no ANEXO I:

- Anions: EPA 300:1993; 300.1:1999 e POP PA 032 Rev. 08
- Cianeto (CFA) : ISO 14403:2012
- Cianetos : POP PA 060 / SMEWW 4500 CN F, EPA 9010 C, EPA 9013.
- Fluoretos: SMEWW 4500 - F D
- Índice de Fenóis: ISO 14402:1999
- Líquidos Livres NBR 12988
- Lixiviação: POP PA 062 / ABNT NBR 10005:2004
- Mercúrio: EPA 245.7:2005
- Metais (ICP-OES): Determinação SMEWW 3120 B / Preparo EPA 3010A:1992
- Óleos e Graxas (solos): POP PA 064
- pH: POP PA 056 / USEPA 9045 D
- Sólidos Totais: POP PA 058 Revisão 02
- Solubilização: POP PA 053 / ABNT NBR 10006:2004
- Sulfeto: POP PA 065 / USEPA 9030, 9034
- Surfactantes: SMEWW 5540 C
- SVOC: USEPA 8270D e 3510C, SMEWW 6410B
- Toxafeno: POP PA 057 / USEPA 505
- VOC - água: USEPA 8260C, 5012^a

4.4 Testes no corpo de prova

Os corpos de prova foram feitos em um formato passível de se avaliar a porcentagem de perda e retenção de água, por meio da medição da retração dos mesmos, seguindo as proporções sugeridas no item 4.2. Para isso, os corpos de prova foram moldados manualmente (Figura 21A), seguindo assim uma espessura comum conforme gabarito utilizado (Figura 21B) e com comprimento suficiente para que, com o auxílio de um paquímetro, pudessem receber uma marcação na distância de 100 mm – padrão utilizado na fábrica para que se obtenha por diferença a retração do corpo de

prova (Figura 21C). Por fim, foram marcados e secos para obtenção dos resultados (Figura 21D).

Figura 21. A. Corpos de prova sendo moldados manualmente; B. Aferição da espessura conforme gabarito; C. Marcação com paquímetro; D. Arranjo dos corpos de prova na secagem prévia em temperatura ambiente.



Fonte: arquivo pessoal.

Com os corpos de prova feitos, os mesmos foram pesados de 15 em 15 minutos aumentando 10°C a cada pesagem até a estabilização da porcentagem de retração, para a construção da Curva de Bigot. Para isso foi utilizado um forno elétrico que simula o processo de secagem e posterior queima nos fornos da fábrica.

Os resultados obtidos a partir da simulação da fabricação dos blocos por meio dos testes com os corpos de prova são essenciais para que, a partir disso, se possa obter os resultados dos testes de: % Umidade, Perda ao Fogo, Retração de Secagem, Queima, Absorção de água, Água de Amassamento, Plasticidade e Granulometria.

4.4.1. %Umidade

Os corpos de prova foram colocados em uma bandeja metálica, onde permaneceram por 24 horas em temperatura ambiente. Decorrido este intervalo, as peças foram colocadas em uma estufa a 40°C por 3 horas. Após esse intervalo de tempo,

a temperatura foi aumentada para 60°C, permanecendo por mais 3 horas. Ao término desse período, a temperatura foi elevada para 80°C e a partir de então, por análise visual, os corpos de prova foram sendo observados até que as bordas ficassem com o aspecto de ressecadas. A partir deste ponto, eleva-se a temperatura do forno à 100°C por um período de 24 horas.

Durante esse processo de secagem, foram feitas pesagens e medições a fim de se obter os parâmetros de retração de secagem e retração de queima, os quais foram essenciais para saber se um material é bom ou não para ser utilizado na fabricação de blocos.

4.4.2 Perda ao fogo

É a diminuição de massa da amostra seca, durante a queima, provocada pela eliminação de matéria orgânica presente, água, prováveis hidróxidos de alumínio e outros presentes na amostra, CO₂ da decomposição dos carbonatos e água de constituição das argilas durante a queima.

A determinação da Perda ao Fogo (PF) foi feita com amostras que apresentam peso constante após secagem a 100°C. Os resultados são expressos em % de perda em relação à massa da amostra seca a 100°C.

Os cálculos são feitos conforme a equação abaixo:

$$\%PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \cdot 100$$

Onde:

Ms = Massa após secagem.

Mq = Massa após queima.

4.4.3 Retração após secagem

Este ensaio é regido pelo Método Brasileiro MB-305 da ABNT. A retração linear ou contração avalia o encolhimento das massas argilosas quando perdem águas coloidal e intersticial durante o processo de secagem e queima. Esse encolhimento é avaliado através do peso e comprimento dos corpos de prova.

Pela contração pode-se estimar a composição granulométrica da argila, isto é, maior contração indica granulometria muito fina que, por sua vez, exige mais água para o amassamento. Através da contração pode-se avaliar algumas propriedades físicas das argilas e conseqüentemente do lodo adicionado, como a plasticidade, a resistência

mecânica a cru e os comportamentos na secagem e na queima. O ensaio de contração das massas nos permite dimensionar os elementos de formação das peças, como estampo, boquilhas entre outros e controlar as dimensões das peças a serem queimadas.

4.4.4 Retração após queima

É a retração provocada pela eliminação de água de constituição, matéria orgânica e do CO₂ da decomposição dos carbonatos. A temperatura de queima implica na variação da retração.

Após a secagem dos corpos de prova efetuada em um forno elétrico automático, os mesmos passaram para o processo de queima, no qual foram submetidos a uma temperatura média de 880°C no forno industrial por um período de 3 horas.

Decorrido este intervalo os corpos de prova foram retirados do forno e ficaram expostos no ambiente, promovendo uma queda gradativa e lenta da temperatura até que a temperatura dos mesmos se igualou à temperatura ambiente.

Após as medições é realizado o cálculo da retração total, onde retração linear total é a soma da retração de secagem com a retração de queima.

4.4.5 Absorção de água

É o quociente da massa de água absorvida pelo corpo de prova, saturado de água, pela massa do corpo de prova seco. De acordo com o parâmetro utilizado pela empresa, o ideal é este índice estar entre no mínimo 8% e no máximo 25%, de acordo com a NORMA 15270:2017. A absorção de água (AS) é calculada em porcentagem pela fórmula:

$$\%AS = \frac{Mu - Ms}{Ms} \cdot 100$$

Onde:

Mu — massa úmida (g);

Ms — massa seca (g)

4.4.6 Plasticidade

Conforme Gomes (1998), plasticidade é a propriedade que se manifesta na mudança de forma, sem ruptura de uma mistura feita com argila e água por aplicações de uma força exterior e pela retenção de forma quando a força é removida ou reduzida.

Essa técnica tem o objetivo de verificar se as argilas são suficientemente plásticas para serem usadas na confecção de produtos pelo processo de extrusão, comparando com resultados de argilas padrões e verificar se as argilas apresentam elevada plasticidade e, conseqüentemente, elevada retração após secagem. O ideal é que a argila seja classificada como plástica, ou seja, com um índice de plasticidade de 14 a 16, conforme Tabela 2. O método de Atterberg está aplicado nas normas ABNT:

- NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade
- NBR 6459 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez

Neste método, as amostras são umedecidas e submetidas a três diferentes condições plásticas, para as quais se determinam os teores de umidade.

O limite de plasticidade foi determinado conforme a norma técnica NBR 7180 (ABNT, 1984), da seguinte forma:

1. Pesou-se 200g da amostra, a mesma foi passada na peneira de 0,42 mm;
2. Metade do material foi colocado em uma cápsula de porcelana e umedecido aos poucos com água destilada, amassando vigorosamente durante 15 a 30 minutos;
3. Cerca de 10g da amostra foi separada e rolada sobre a placa de vidro, com pressão suficiente para formar um cilindro;
4. Se houvesse fragmentação antes de atingir 3mm, foi necessário adicionar mais água e amassar por mais 3 minutos;
5. Se a amostra atingir 3mm sem se fragmentar, o cilindro foi transferido para uma cápsula para obtenção da umidade;
6. O processo foi repetido, obtendo pelo menos 3 determinações. Os valores foram aceitáveis se a variação foi inferior a 5%.

Tabela 2. Índices do limite de plasticidade.

Argila	Índice de Plasticidade
Não plástica	10 a 12
Plástica	14 a 16
Excessivamente plástica	18 a 25

4.4.7 Granulometria

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa

na massa total ensaiada. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica.

Pesou-se 100g da amostra (material) e a mesma foi seca à 100°C por 2 horas, adicionou-se água para dissolver a amostra e o material foi lavado com água na peneira.

A amostra foi peneirada nas malhas #20 (0,850 mm), #30 (0,600 mm), #50 (0,300 mm), #70 (0,212 mm), #100 (0,150 mm) e #325 (0,045 mm) e em seguida o conteúdo das peneiras foi seco e pesado.

As peneiras de espessura 0,850 mm, 0,600 mm e 0,300 mm, são consideradas grossas, ou seja, o material que fica retido nessas peneiras é considerado grosso, já as peneiras 0,212 mm, 0,150 mm e 0,045 mm são consideradas finas, e conseqüentemente, o material retido por elas é considerado fino. De acordo com o parâmetro utilizado na empresa, o ideal é ter uma proporção de 60% e 40% ou 50% e 50%, entre as quantidades de material fino e grosso respectivamente.

4.5 Confeção do bloco cerâmico

Diante dos resultados obtidos com o estudo em corpos de prova, foi escolhido o tratamento que levou a adição de 20% de lodo para a confecção do bloco cerâmico, pelo fato de que este foi o que mais se aproximou dos parâmetros exigidos de qualidade. Em complementação foi realizado um teste com 5% de lodo, sendo ambos testes comparados com o bloco padrão rotineiramente produzido pela cerâmica.

Todos os lotes de blocos produzidos foram avaliados e posteriormente emitidos os laudos de acordo com os requisitos exigidos pela norma Técnica da ABNT:2017, a NBR 15270:1 (Componentes cerâmicos - Parte 1: Blocos e tijolos cerâmicos para alvenaria - Terminologia e requisitos.) e NBR 15270:2 (Componentes cerâmicos - Parte 2: Métodos para Ensaio). Essa avaliação foi feita de acordo com as etapas descritas a seguir. Esse material foi cedido pela empresa parceira deste trabalho, portanto, é a descrição da forma de como o processo é realizado na Cerâmica.

IDENTIFICAÇÃO

Uma vez utilizados para fins comerciais, é obrigatório, conforme a NBR, que o bloco cerâmico traga, em qualquer de suas faces externas, a identificação do fabricante do bloco, em baixo relevo ou reentrância, e com as dimensões do bloco explícitas na forma L x H x C.

INSPEÇÃO VISUAL

Na verdade este não chega a ser um teste propriamente dito e sim uma inspeção visual com a qual se pretende determinar possíveis irregularidades a olho nu. Estas podem ser de vários tipos como por exemplo coloração (homogênea ou não homogênea), presença de trincas (seja nas paredes internas ou externas), quebras (ou partes do bloco faltando), superfícies irregulares (ou deformes) e deformações do bloco. A norma especifica que todos os blocos devem estar isentos destes defeitos.

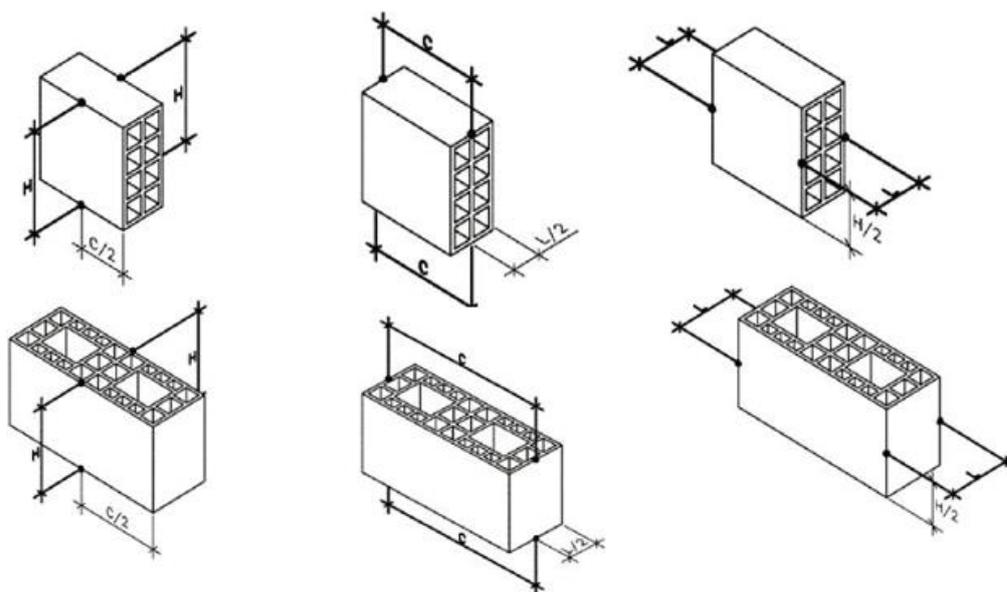
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

As características geométricas dos blocos cerâmicos foram feitas por medição direta, através da utilização de instrumentos de medição, como paquímetro, régua metálica, e esquadro. Essas características foram demonstradas por: dimensões das faces, dimensões das paredes e septos, planeza das faces, desvios em relação ao esquadro.

a) DIMENSÕES DAS FACES:

Segundo o próprio nome diz, delimita a superfície do bloco, valor dado como largura, altura e comprimento (Figura 22). As tolerâncias dimensionais individuais para estas grandezas são ± 5 mm, para tolerâncias dimensionais relacionados á média são ± 3 mm.

Figura 22. Dimensões dos blocos cerâmicos segundo a NBR 15270:1.

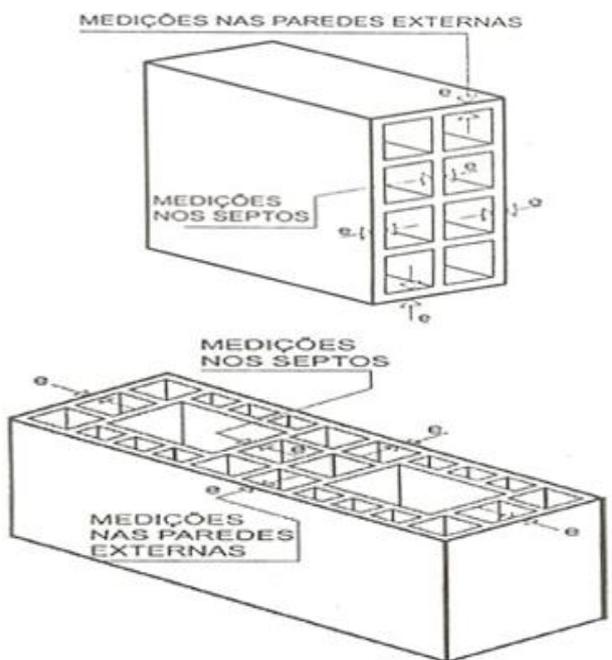


Fonte: arquivo cerâmica.

b) DIMENSÕES DAS PAREDES E SEPTOS

Delimita a espessura das paredes externas e dos septos, também conhecido por paredes internas. Foram escolhidos quatro pontos das paredes externas e dois dos septos. Para os blocos de vedação os septos devem ser no mínimo de 6 mm, e as paredes externas no mínimo de 7 mm. Para os blocos estrutural os septos devem ser no mínimo de 7 mm e as paredes externas no mínimo de 8mm (Figura 23).

Figura 23. Dimensões mínimas em milímetros dos septos das unidades cerâmicas

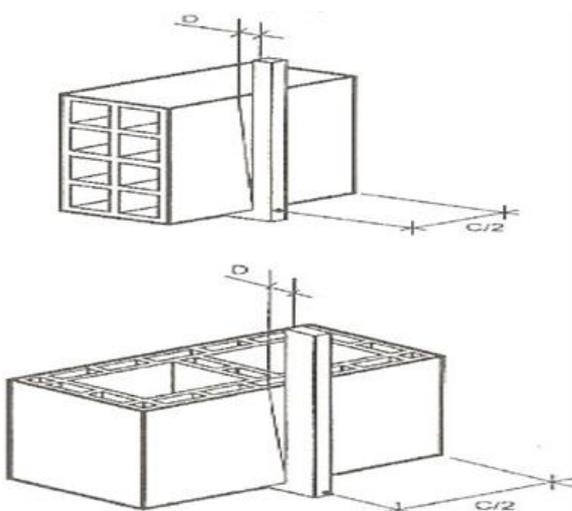


Fonte: arquivo cerâmica.

c) DESVIO EM RELAÇÃO AO ESQUADRO

Neste ensaio, foi apoiado o instrumento de medição na direção de um plano perpendicular a face do bloco, desejando que haja um perfeito encaixe (Figura 24). No caso de imperfeições e irregularidades nas faces do bloco, desvios foram identificados e medidos. O desvio em relação ao esquadro deve ser no máximo até 3mm.

Figura 24. Ilustração do teste de encaixe do bloco cerâmico.



Fonte: arquivo cerâmica.

d) PLANEZA DAS FACES

Neste ensaio, foi apoiado o instrumento de medição na direção de um plano diagonal ao bloco. Havendo imperfeições ou irregularidades nas faces do bloco, desvios conhecidos por flechas foram identificados e medidos. A flecha deve ser no máximo de 3 mm.

ABSORÇÃO DE ÁGUA

Este requisito é um dos principais atributos que todo bloco cerâmico deve possuir (o outro é a resistência à compressão). Dito de outra forma, são as duas propriedades que melhor caracterizam os blocos. Mas isto não significa que cada fabricante possa escolher ou definir arbitrariamente, o grau de absorção de água que seu produto deva ter.

De acordo com a NBR 15270, esses ensaios visam a determinação da Massa Seca (M_s) e Massa Úmida (M_u) do bloco cerâmico, e, com estes dados, foi calculado o Índice de Absorção de Água (Ab).

Com a M_s em mãos, com uso da balança foi medido o valor da M_u e a partir da equação abaixo foi calculado o Ab . O índice de absorção d'água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%.

$$Ab = \frac{Mu - Ms}{Ms} .100$$

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Quantifica a Resistência à Compressão dos Blocos Cerâmicos, a resistência do bloco (fbk) depende das matérias-primas utilizadas na fabricação do bloco assim como do processo de queima. Em geral, foi considerada a resistência como um indicador de qualidade do bloco. Devido à importância deste parâmetro, a norma define o procedimento a ser utilizado para estimar a resistência à compressão de um lote, desta forma o bloco deve ser posto no instrumento de aplicação de carga uniforme sobre os pratos de aço e com aplicação de cargas perpendicular ao seu comprimento.

Para os blocos de vedação, é necessário que cada bloco seja capeado antes de proceder ao ensaio propriamente dito. O capeamento consiste em cobrir uma superfície plana recoberta com papel umedecido, com pasta de cimento (Figura 25 A). A superfície plana utilizada foi a bancada de granito polido do laboratório, a qual foi recoberta com pedaços de jornal umedecidos. A pasta de cimento nada mais é uma mistura de água e cimento. A finalidade do capeamento é regularizar as faces de assentamento e assim evitar que durante o ensaio de compressão a carga se concentre em determinadas áreas já que esta deve estar distribuída por igual nas duas faces.

A resistência a compressão dos blocos cerâmicos de vedação com furos na horizontal calculados na área bruta, devem atender aos valores mínimos de $\geq 1,5(Fbk)$ (Figura 25 B), onde Fbk é a resistência característica estimada, em megapascals (MPa).

Figura 25. **A.** Capeamento dos blocos; **B.** Simulação de compressão do bloco cerâmico de vedação.



Fonte: arquivo pessoal.

O limite de resistência à compressão (em MPa) é calculado dividindo-se a carga máxima suportada e observada durante o ensaio (em N), pela média das duas áreas das faces de assentamento (em mm²).

Todos esses testes são realizados segundo a NBR 15270:1 e NBR 15270:2, desta forma a empresa se preocupa em colocar no mercado produtos de alta qualidade, buscou soluções para a modernização, produtividade e controle tecnológico de seus produtos.

4.6 Análise estatística

Os resultados dos testes Umidade, Perda ao Fogo, Perda Total, Retração de Secagem, Retração de Queima, Retração Total e Absorção de Água foram analisados por análise de variância (ANOVA) e no caso de diferença significativa, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o software *Statistic 6*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Corpos de prova

Para todos os testes das diferentes concentrações de lodo, foram feitas as medições de Umidade, Perda ao Fogo, Perda Total, Retração de Secagem, Retração de Queima, Retração Total e Absorção de Água (Tabela 3). Esses parâmetros são medidos com o intuito de fazer uma avaliação prévia da qualidade e tipo do material que será utilizado para a fabricação dos blocos.

Tabela 3: Valores médios para os tratamentos massa padrão, 100% de lodo, 70% de lodo, 50% de lodo e 20% de lodo de Umidade, Perda ao Fogo, Perda Total, Retração de Secagem, Retração de Queima, Retração Total e Absorção de Água para todos os tratamentos estudados.

Indicador (%)	PADRÃO	20%	50%	70%	100%
Umidade	24,21 a	47,32 a	68,37 b	93,94 c	140,1*d
Perda ao Fogo	7,21 a	10,97 ab	11,10 b	14,93 c	22,95 d
Perda Total	25,29 a	39,56 b	47,18 c	56,17 d	67,89 e
Ret Secagem	4,48 a	9,01 b	13,09 c	16,82 d	21,38 e
Ret Queima	0,25 a	1,13 b	1,27 b	1,62 c	4,91 d
Ret Total	4,73 a	10,17 b	14,35 c	18,44 d	26,29 e
Absorção Água	18,13 a	24,44 b	28,66 bc	33,40 d	40,85 e

* o valor ultrapassa 100%, pois o cálculo é feito pela diferença de peso (perda de água) em relação ao peso seco (% Umidade = (Peso úmido – Peso seco)/Peso seco * 100)).

Letras diferentes indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey

A partir desses resultados, foram realizadas as análises que direcionaram os principais parâmetros do trabalho como a plasticidade, granulometria e elaboração da Curva de Bigot bem como seu ponto crítico, a fim de se obter a relação da qualidade e viabilidade do material estudado para a fabricação de bloco.

Avaliando separadamente os resultados de Umidade, Perda ao Fogo, Perda Total, Retração de Secagem, Retração de Queima, Retração Total e Absorção de Água, têm-se que, para o bloco feito com massa padrão, pode-se concluir que é a mistura ideal, pois apresenta baixa retração de secagem o que confere maior facilidade de trabalhar com a massa por apresentar uma massa uniforme e quase nula retração de queima, confirmando assim a boa qualidade do material analisado, pois a baixa retração de queima é um indicativo de que o bloco não apresentará trincas e/ou microtrincas que podem vir a comprometer a estrutura da construção. Outro ponto a ser observado é a absorção de água que apresentou o valor de 18,1% (considerado ideal).

Para o tratamento da fabricação de blocos com a adição de 100% do lodo o resultado com o corpo de prova demonstrou ser inviável. A amostra analisada apresentou uma retração de secagem muito elevada (que reflete a grande quantidade de água presente no material. Essa quantidade de água interferiu dificultando até na

moldagem dos corpos de prova. A elevada retração de queima dificulta o controle dimensional dos blocos, prejudicando o processo de fabricação. A partir disso, já foi constatado que nessa proporção torna-se impossível de se viabilizar a produção, porém os demais testes foram realizados da mesma forma.

Da mesma forma, o incremento de 70% de lodo na mistura, adiantam que nessa quantidade de lodo adicionado ainda é inviável para fabricação de blocos. Apresenta mais de 90% de umidade, uma retração de secagem de 16,8% e um índice de absorção de água de 33,4%. Apenas com esses dados já é possível concluir que essa proporção é inviável.

No teste feito com o incremento de 50% de lodo na mistura, pode-se concluir que com esta proporção de incremento de lodo, os valores começam a se distanciar comparando-os aos obtidos nas análises da mistura padrão. Apresenta uma retração de secagem de mais de 8 pontos percentuais da obtida na mistura padrão, com uma retração de queima não tão alta, mas ao avaliar a retração total é maior em aproximadamente 10 pontos percentuais, o que indica um alto nível de risco para a produção dos blocos. Dois valores chamam a atenção que são: a umidade que passa de 60% e o outro é a absorção de água que apresentou o valor de 28,7%, que já está fora do limite máximo aceitável. Diante desses resultados, já é possível indicar que este incremento de lodo não é aceitável para a adição na mistura para fabricação de blocos.

Já para o teste feito com o incremento de 20% de lodo na mistura, pode-se concluir que com esta proporção de incremento de lodo, os valores chegam bem próximos aos obtidos nas análises da mistura padrão. Apresenta uma retração de secagem que é o dobro da obtida na mistura padrão, porém a retração de queima apesar de ser pouco maior, ainda é baixa, não apresentando tanto risco de surgimento de defeitos no produto final. Porém, dois pontos importantes de atenção para essa mistura devem ser observados: o primeiro é para o valor da umidade, que se aproxima de 50%, que evidencia que o material é bem úmido e o outro é a absorção de água que apresentou o valor de 24,4%, praticamente no limite máximo aceitável, que pode vir a causar problemas na porosidade do produto final.

Importante salientar que no geral a amostra analisada apresentou bons resultados, sendo a quantidade de umidade excessiva devido ao teor de matéria orgânica, que costuma volatilizar na temperatura de 60°C ajudando o material a ficar mais leve e com uma resistência boa ao impacto com o material seco.

5.2.1 Plasticidade

Para a massa padrão o índice de plasticidade ficou em 14,29%, como é possível observar na Tabela 4, classificando assim esse material como Plástico, ou seja, no ponto ótimo para manuseio e indicando também que o mesmo apresenta baixa umidade de extrusão, ou seja, não tem excesso de água em sua constituição – característica desejável nos materiais destinados para a fabricação de blocos.

Tabela 4. Resultados de plasticidade para os tratamentos massa padrão, 100% de lodo, 70% de lodo, 50% de lodo e 20% de lodo.

Tratamento	Peso da massa (g)		% do Limite de Plasticidade
	Umida	Seca	
Padrão	8	7,0	14,29
100%	8	5,9	35,59
70%	8	6,0	33,33
50%	8	6,4	25,00
20%	8	6,5	23,08

No tratamento com o incremento de 100% de lodo, o índice de plasticidade para esta mistura foi de 35,59, ou seja, acima do limite da classificação de “Excessivamente Plástica”, descartando a possibilidade de utilização desta mistura na fabricação de blocos.

O índice de plasticidade para o tratamento com o incremento de 70% foi de 33,33, também um valor acima do limite da classificação de “Excessivamente Plástica”, descartando a possibilidade de utilização desta mistura na fabricação de blocos.

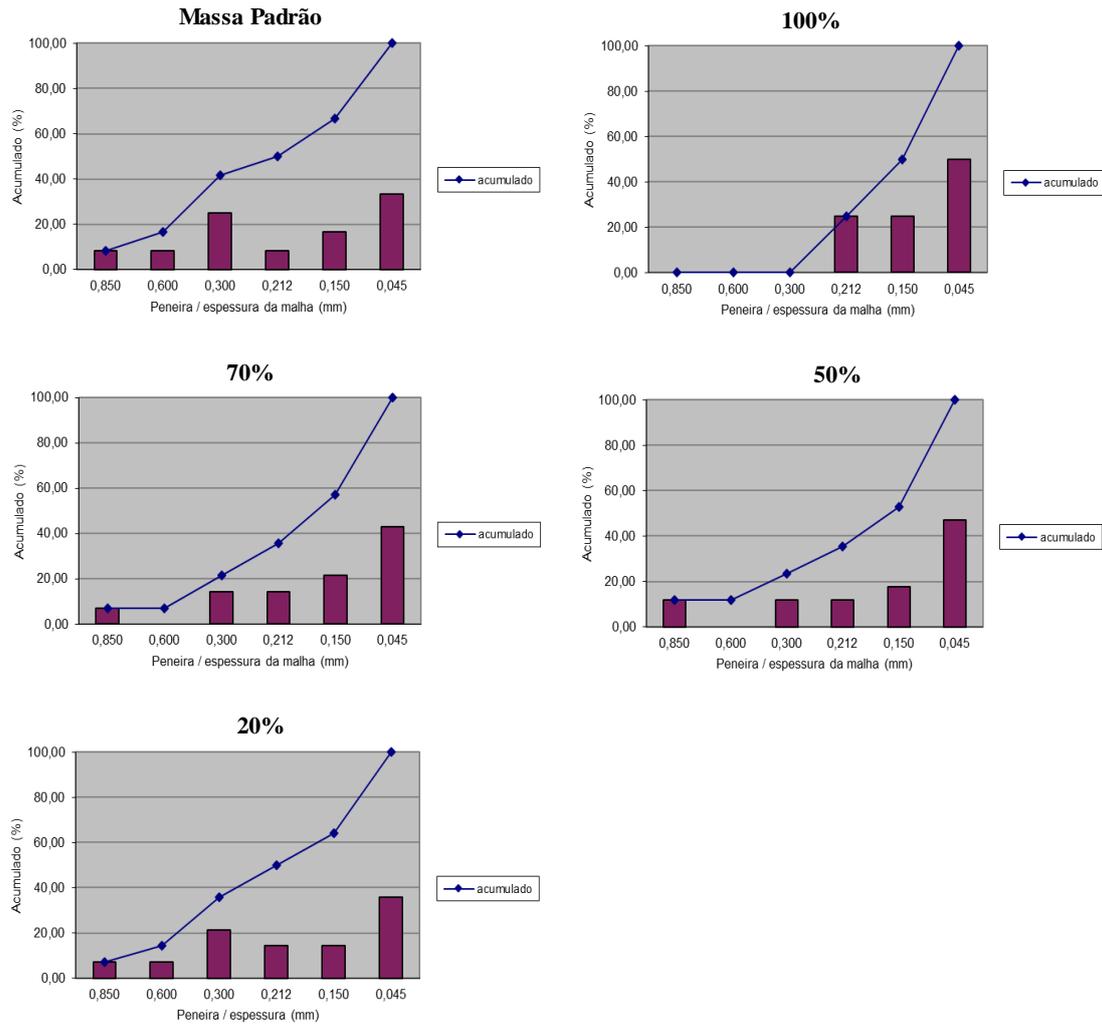
Na massa com o incremento de 50% de lodo, o índice de plasticidade apresentou o valor de 25,0, enquadrando na classificação como “Excessivamente Plástica”, sendo o mesmo o valor máximo dentro desta classe de classificação. Esse é mais um resultado que descarta essa mistura na produção dos blocos.

Já na massa com o incremento de 20% de lodo, o resultado do índice de plasticidade foi de 23,08, ainda preocupante, pois esse valor, indica que há presença de umidade elevada, o que pode se tornar um problema, pois quando essa umidade é muito alta pode deixar o bloco mole provocando o amassamento do mesmo, ficando torto, empenado, saindo fora do esquadro, entre outros problemas além de provocar prejuízo financeiro para a fábrica que em alguns casos tem que descartar o material.

5.2.2. Granulometria

De modo geral, as argilas para cerâmica vermelha devem apresentar granulometria fina e conveniente distribuição granulométrica dos argilominerais e inertes, com a finalidade de garantir o controle das dimensões finais do produto.

Figura 26. Resultados de granulometria para os tratamentos massa padrão, 100% de lodo, 70% de lodo e 20% de lodo.



Quanto a análise de granulometria, a massa padrão apresenta uma distribuição ótima entre a parte considerada fina e a grossa da massa (Figura 26), em torno de 40% do material é considerado de granulometria grossa e o restante, em torno de 60%, é considerado fina.

No tratamento com o incremento de 100% de lodo, na análise de granulometria, não é possível nem detectar a presença de material grosso, praticamente todo o material

possui uma granulometria considerada como fina, o que impacta diretamente no processo de fabricação, tornando-o inviável.

Para o tratamento com o incremento de 70% de lodo, é possível perceber que em torno de 80% deste material é considerado de granulometria fina, o que torna a diferença entre a proporção entre fino e grosso muito fora do que se considera como o ideal. Essa característica de ter muito material fino, dificulta o processo de fabricação, tornando o mesmo inviável. A presença de trincas e deformações tornam-se ainda mais aparentes, conforme comparação apresentada nas Figuras 27 A e B, abaixo.

Figura 27. Corpo de prova após a secagem (A) e após a queima (B), para o teste com 70% Lodo + 15% Argila Forte + 15% Argila Fraca.



Avaliando a análise de granulometria da massa com o incremento de 50% de lodo, é possível perceber que mais de 70% deste material é considerado de granulometria fina, o que torna a diferença entre a proporção entre fino e grosso muito fora do que se considera como o ideal. Além disso, em uma análise visual dos corpos de prova (conforme figura 28) antes e após a queima, fica evidente alguns sinais de não conformidades do material, como trincas e rachaduras.

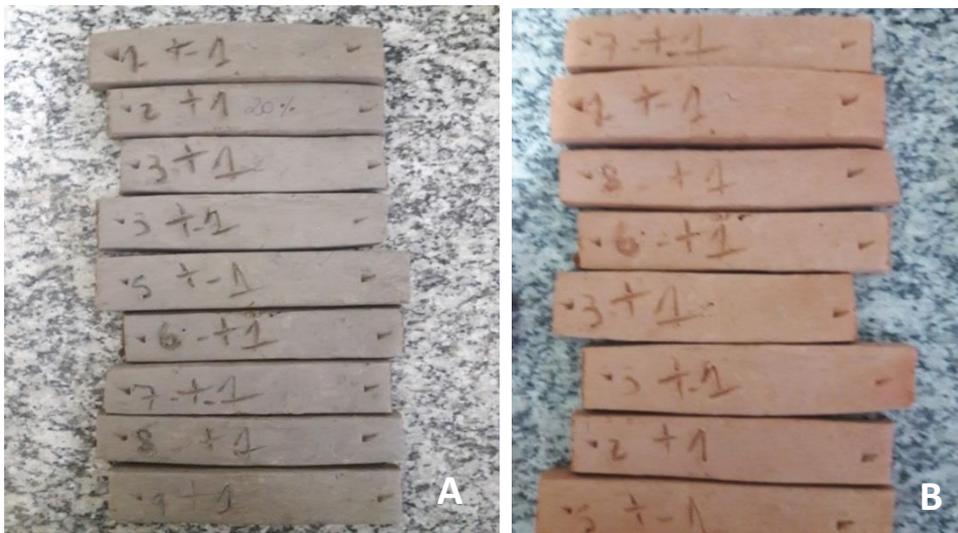
Figura 28. Corpo de prova após a secagem (A) e após a queima (B), para o teste com 50% Lodo + 25% Argila Forte + 25% Argila Fraca.



Na análise de granulometria da massa com o incremento de 20% de lodo, fica evidente que essa mistura é a porcentagem limite ou bem próximo da limitante, pois a proporção entre grossa e fina neste caso (em torno de 36% de material considerado grosso e o restante, em torno de 64%, é considerado fino), estando assim bem próximo do que é considerado como ideal.

Na figura 29 fica visível a estabilidade do corpo de prova com relação a aparência e também a ausência de trincas e rachaduras, o que reforça a hipótese de que essa proporção de incremento de 20% de lodo é viável na fabricação do bloco.

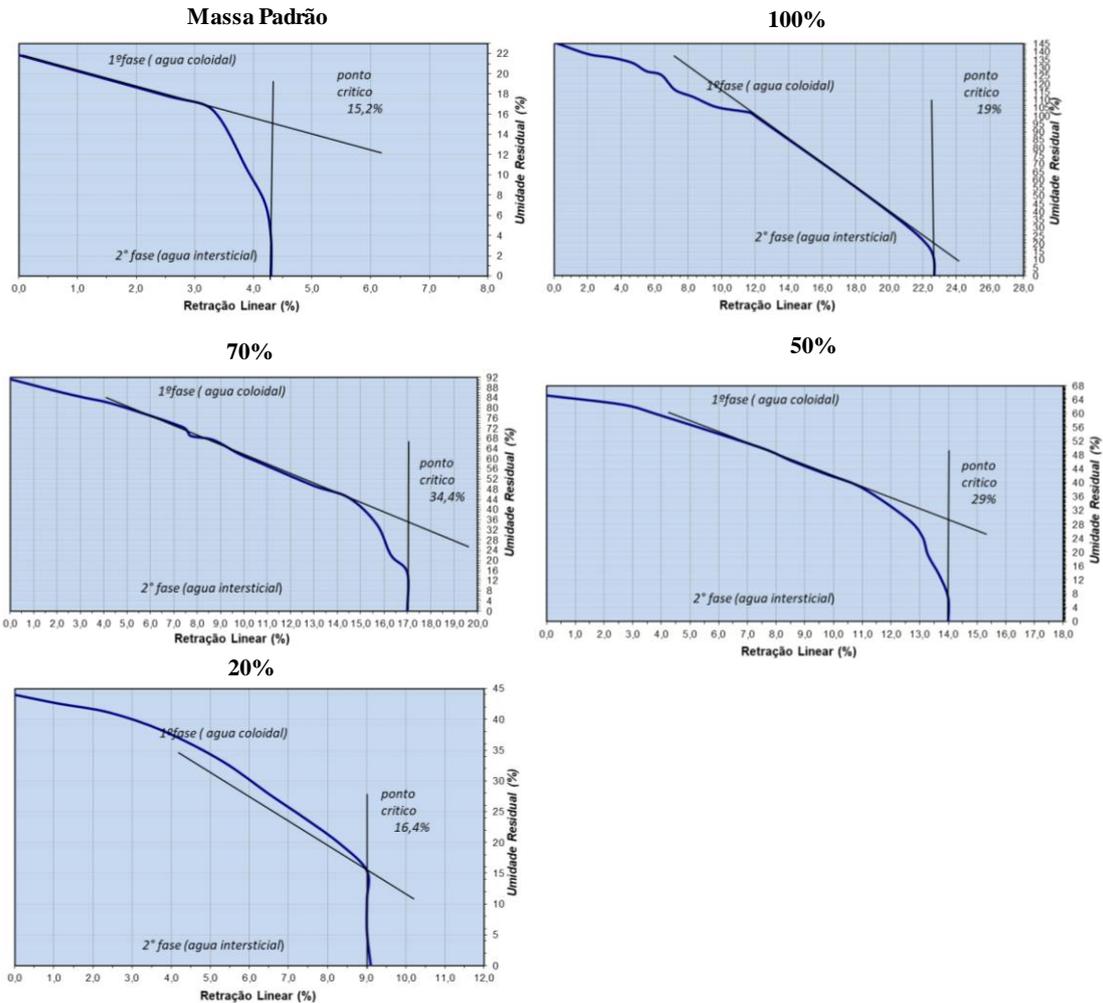
Figura 29. Corpo de prova após a secagem (A) e após a queima (B), para o teste com 20% Lodo + 40% Argila Forte + 40% Argila Fraca.



5.2.3. Curva de Bigot

A Curva de Bigot, principal ferramenta utilizada para aferir a velocidade da perda de água, que conseqüentemente reflete nos indicadores de retração do material, sendo estes essenciais para garantir a qualidade final do produto, para a massa padrão, a curva de secagem se apresenta curta na primeira fase atingindo o ponto crítico muito rápido, demonstrando que se pode acelerar a secagem a partir daquele ponto, tendo um ciclo mais rápido, e sem problemas (Figura 30).

Figura 30. Resultados da curva de Bigot para os tratamentos massa padrão, 100% de lodo, 70% de lodo, 50% de lodo e 20% de lodo.



Para o incremento de 100% de lodo, foi possível observar que o material apresentou na primeira fase uma saída lenta de água e constante retração, devido a quantidade de água presente. Isso implica em um ciclo de secagem longo e acompanhando também de retração, fator que pode implicar em vários problemas de secagem. Na fase de secagem, a amostra apresentou uma saída de água brusca acompanhada de uma retração excessiva, o que implica em um grande risco de não conformidades nos blocos.

No teste com o incremento de 70% de lodo, a amostra apresentou um percentual de água extremamente alto, deixando assim a curva de secagem longa demais, o que implica em um aumento significativo no ciclo de secagem, praticamente dobrando o tempo de secagem com relação ao tempo normal (com a massa padrão), tornando inviável sua utilização.

Avaliando a o gráfico da massa com o incremento de 50% de lodo, nota-se que pelo fato da mesma ter apresentado um teor de umidade alto, conseqüentemente o tempo para efetuar a retirada/perda dessa umidade foi muito lento acompanhada de uma retração elevada, o que dificulta o processo de secagem e pode ocasionar problemas de empeno e trincas durante esta primeira fase. A retração apresentada de 14% só para o período de secagem é muito elevada para a produção de blocos cerâmicos, confirmando que esta proporção de 50% de lodo torna-se inviável.

Avaliando o comportamento da Curva de Bigot da massa com o incremento de 20% de lodo, pode-se dizer que se apresentou como satisfatória, podendo ser levada para ser testada na produção. No processo em escala industrial, o material irá sofrer influência da abertura do laminador, secagem artificial, e pressão controlada, que tudo indica que irão contribuir para a melhor adaptação do material à mistura para a produção de blocos.

O ponto crítico em 16,4% significa que com esta porcentagem de umidade deve ser redobrada a atenção, controlando lentamente o processo de secagem até este momento e logo após poderá ser acelerado sem grandes riscos.

5.3 Confeção e análises do bloco cerâmico.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de corpo de prova, foram escolhidos os tratamentos com 20% de lodo, pois foi o mais aceitável e próximo ao bloco padrão e adicionalmente foi testado o tratamento com 5% de lodo, ambos foram comparados com o bloco cerâmico padrão.

5.3.1 Inspeção Visual

As características visuais dos blocos cerâmicos produzidos (Figura 31) foram analisadas com a finalidade de determinar a existência ou não de algumas características como identificação, cor, trincas, quebras, superfícies irregulares e possíveis deformações (Tabela 5).

Tabela 5. Características visuais dos blocos cerâmicos padrão, com adição de 20% de lodo e 5% de lodo.

Tratamento	Identificação	Cor	Trincas	Quebras	Superfície Irregulares	Deformações
Padrão	***	x	0	0	0	0
20% de lodo	***	XX	0	0	*	*
5% de lodo	***	XX	0	0	*	*

Onde:

0 - nenhum

* - alguns (poucos)

** - muitos

*** - todos

XX - homogênea

XX - não homogênea

Figura 31. Aspecto geral dos blocos cerâmicos padrão (A), com adição de 20% de lodo (B) e com adição de 5% de lodo (C).



5.3.2 Características geométricas

A expressão “Dimensões nominais” refere-se às dimensões especificadas pela norma para as arestas dos blocos (NBR 15270:2017).

Tabela 5. Dimensões nominais e intervalos de variação em mm – L: Largura; C: Comprimento; H: Altura

DIMENSÕES NOMINAIS	INTERVALO DE VARIAÇÃO (IV)
L = 190,0 mm	(187,0 < L < 193,0) mm
H = 190,0 mm	(187,0 < C < 193,0) mm
C = 290,0 mm	(287,0 < H < 293,0) mm

Para os blocos produzidos neste experimento foi considerado, de acordo às dimensões em cm, que serviram de referência para a avaliação dos produtos da empresa, onde para cada dimensão se determinou o intervalo de variação (Figura 32), ou seja, os valores extremos entre os quais podem variar as dimensões reais dos blocos, sem que esta variação implique como não conformidade com a norma (Tabela 5). Qualquer valor fora desses limites (abaixo do limite inferior ou acima do limite superior) indica não conformidade.

Figura 32. Medição das dimensões com paquímetro.



Tabela 6. Valores médios das dimensões (largura, altura e comprimento em mm) dos blocos cerâmicos padrão, com adição de 20% de lodo e 5% de lodo.

Tratamento	L (mm)	H (mm)	C (mm)
Padrão	194,2	192,8	290,6
20% de lodo	192,3	192,3	289,2
5% de lodo	193,4	191,7	289,2

O bloco padrão não apresentou conformidade com a norma com relação a largura, pois ultrapassou 1,4 mm do limite estabelecido, os demais tratamentos atenderam as exigências da normativa quanto a dimensão (Tabela 6).

5.3.3 Desvio em relação a esquadro.

O desvio em relação ao esquadro parece ser um dos requisitos de conformidade, assim como o dimensional, que apresenta certo grau de dificuldade para ser atingido e mantido. A norma estabelece uma tolerância máxima para D de 3,0 mm.

Tabela 7. Valores médios de D (Desvio em relação ao esquadro em mm) dos blocos cerâmicos padrão, com adição de 20% de lodo e 5% de lodo.

Tratamento	D (mm)
Padrão	1,6
20% de lodo	1,6
5% de lodo	1,6

Como pode ser visto na Tabela 7 não houve diferença quanto ao valor do desvio em relação ao esquadro, isso representa que os blocos não passaram por uma secagem diferencial ou residual que se manifesta quando não há uma distribuição homogênea da umidade (água) na massa. Isto também está relacionado com uma distribuição granulométrica muito homogênea, ou seja, mesmo se tratando de um material diferente da argila, no caso o lodo, os resultados foram aceitáveis.

5.3.4 Planeza das faces

A planeza das faces consiste em determinar o desvio em relação à horizontal das faces do bloco, em outras palavras, determinar quão planas são suas faces, a conformidade com a norma existe quando o valor de planeza é de no máximo 3mm.

Tabela 8. Valores médios de planeza das faces em mm dos blocos cerâmicos padrão, com adição de 20% de lodo e 5% de lodo.

Tratamento	Planeza das faces (mm)
Padrão	1,6
20% de lodo	1,0
5% de lodo	2,0

Com relação a este parâmetro os três tratamentos se apresentaram em conformidade com a normativa.

5.3.5 Espessura das paredes externas.

Blocos de vedação (utilizados nesta avaliação) são aqueles que não têm a função de suportar outras cargas além da do seu próprio peso e pequenas cargas de ocupação, mas mesmo assim, esses blocos são utilizados na construção de prédios, conjuntos residenciais, condomínios e estruturas diversas para as mais variadas finalidades, desta forma espera-se que tenham suficiente resistência, o formato adequado, as dimensões certas, enfim, todas as características que lhes permitam um bom desempenho quando em uso.

Para tal, faz-se necessário, entre outras coisas, que a espessura do bloco, em especial suas paredes, tenham condições de suportar as cargas a que são submetidos. Isto significa que as paredes não podem apresentar uma espessura qualquer ou que o critério do fabricante deva prevalecer. As normas da ABNT também regem esta

característica, que toda empresa deve seguir para cumprir com os requisitos mínimos de conformidade.

Tabela 9. Valores médios da espessura da parede externa em mm dos blocos cerâmicos padrão, com adição de 20% de lodo e 5% de lodo.

Tratamento	Espessura das paredes externas (mm)
Padrão	8,8
20% de lodo	8,8
5% de lodo	8,8

As normas estipulam um valor mínimo de 7,0 mm para a espessura das paredes (externas). Presume-se que esse valor tenha sido determinado mediante ensaios em laboratório ou outras técnicas experimentais, e evidentemente, testado, com a finalidade de obter o resultado esperado em termos tanto de desempenho assim como de segurança. Lembrar, então, que esse fator (segurança) está diretamente relacionado com outro fator muito importante, a qualidade. No caso específico dos blocos, a qualidade se torna evidente quando as empresas conseguem satisfazer os requisitos (mínimos) de conformidade das normas.

5.3.6 Água de absorção (AA)

O grau de absorção de água que cada bloco produto deve ter, mesmo havendo um intervalo permitido, está definido na norma NBR 15270:2017, onde deve-se convir que um intervalo de 8,0% a 22% para valores de absorção de água.

Tabela 10. Valores médios de água de absorção (AA) em % dos blocos cerâmicos padrão, com adição de 20% de lodo e 5% de lodo.

Tratamento	Água de Absorção (%)
Padrão	18,2
20% de lodo	18,4
5% de lodo	17,2

Segundo Silva et al 2000, para uma porosidade muito baixa, representada por valores de absorção de água menor que 10%, a aderência entre o bloco e a argamassa

será prejudicada, dificultada em grande medida. Isto significa que a argamassa não poderá aderir ao bloco. Por outro lado, valores de absorção de água superiores a 20% indicam que o material é muito poroso e permeável, prejudicando seu desempenho, uma vez que a resistência mecânica se reduz nessas condições. Assim, recomenda-se como ideais para blocos de vedação, valores na faixa de 18,0% a 20%.

Desta forma pode-se concluir que, para os parâmetros de referência utilizados, 18,0 a 20,0%, somente o bloco com 5% de lodo não está em conformidade (Tabela 10), mas se fossem considerados os parâmetros da norma, 8,0% a 22,0% todos os tratamentos se enquadram como conforme.

5.3.7 Resistência a compressão

Segundo a normativa NBR 15270:2017, a resistência à compressão dos blocos cerâmicos de vedação, calculada na área bruta, deve atender aos valores mínimos indicados na Tabela 11.

Tabela 11. Resistência à compressão (Fb) segundo NBR 15270:2017

Posição dos furos	Fb (Mpa)
Para blocos usados com furos na horizontal	$\geq 1,5$
Para blocos usados com furos na vertical	$\geq 3,0$

O bloco estudado é classificado com furos na horizontal, portanto todos os tratamentos estão em conformidade com a NBR 15270:2017 (Tabela 12).

Tabela 12. Valores médios resistência a compressão em MPa dos blocos cerâmicos padrão, com adição de 20% de lodo e 5% de lodo.

Tratamento	Resistencia Compressão (MPa)
Padrão	1,5
20% de lodo	2,0
5% de lodo	1,6

Mesmo variando a concentração de matéria-prima básica (argila) os tratamentos com 20% e 5% atenderam a todas as exigências previstas na NBR 15270:2017.

6. CONCLUSÃO

Para se trabalhar com o lodo gerado na ETA é necessário que o mesmo passe por um processo de secagem com o intuito de reduzir sua umidade inicial, para que se torne possível seu manuseio e consequentemente utilização.

O estudo preliminar em corpos de prova se mostrou eficiente, pois foram esses resultados que direcionaram a porcentagem de lodo adicionada na massa para a fabricação de bloco cerâmico.

A concentração de 20% foi a que mais se aproximou da amostra padrão quando feitos os testes em corpos de prova, e portanto, os testes na fabricação dos blocos cerâmicos com a adição de 20% e 5% de lodo adicionado a massa padrão em substituição a argila, obtiveram bons resultados de absorção de água e resistência a compressão, sendo estes os parâmetros mais importantes quando se trata de blocos cerâmicos para vedação.

Pelos resultados obtidos foi possível concluir que usar o lodo gerado em estação de tratamento de água na fabricação de bloco cerâmico ecológico é uma alternativa viável, utilizando a porcentagem máxima de 20%, pois esse tipo de produto altera as condições de plasticidade e umidade do bloco, não se mostrando viável o incremento de lodo em maiores quantidades.

7. BIBLIOGRAFIA

ACHON, C. L. **Eco eficiência de sistemas de tratamento de água à luz dos conceitos da ISSO 14.001**. 2008. 248 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 2008.

ANDRADE, C. F. et al. Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de eta e seus impactos na qualidade das águas. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5.**, Belo Horizonte, MG, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 8491**: Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 8492**: Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência a compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Resíduos Sólidos - Classificação”, **NBR 10004**, Rio de Janeiro, RJ (2004).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR:10664** Águas - determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1989. 7p.

ALEM SOBRINHO, P.; GRANDIN, S. R; GARCIA JR., A. D. Desidratação de lodos produzidos em estações de tratamento de água. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17.**, 1993, Natal. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1993.

ARAÚJO, F. S. D. **Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de massa vermelha**. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)-Centro de Ciências exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

BUTTLER, A.: **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2003.

CHÁVEZ P. A. **Uso de lodo de estação de tratamento de água e agregado reciclado miúdo na fabricação de elementos de alvenaria**. Tese apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP: [s.n.], 2007.

CORDEIRO, J.S. (1993). **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de águas**. São Carlos, 342p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CORDEIRO, J. S.: **Gerenciamento de lodo de ETAs – Remoção de água, através de leitos de secagem e codisposição da fase sólida em matrizes de cimento e resíduos da construção civil**. São Carlos: UFSCar / FINEP: p. 145. Relatório Técnico PROSAB 2, 2000.

DIAS, J.F.: **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, UFU, 2004.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

DRUGOWICH, M. I.; M. G. D. P. M. D’AURIA, A **ÁGUA NA AGRICULTURA**. Campinas, CATI 2017. 44p. **ilus.** 21cm (Cartilha).

DUARTE, A. C. L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para a disposição final do resíduo.** (111f.) Dissertação apresentada ao programa de pós graduação de engenharia sanitária - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

ENBRI. **Development of a framework for environmental assessment of building materials and components** (ENBRI Proposal to European Community BRITE EURAM Program). [S. l.]: ENBRI, 1994.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D.; **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Natal, Brasil, 1993.

GOMES, M.A.F. A água nossa de cada dia. **Revista Panorama Rural**. Ano XI, n. 122 – abril 2009. p. 44 – 48.

INGUNZA, M. P. D. et. al. **Uso de lodo de ETE como matéria prima para fabricação de tijolos na região Açu/RN/Brasil**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

JUNIOR, C. **Indústria puxa crescimento do PIB; construção civil foi um dos motores**. Disponível em:<www1.folha.uol.com.br/mercado/793467-industria-puxa-crescimento-do-pib-construcao-civil-foi-um-dos-motores.shtml>. Acesso em: 27 junho. 2017.

KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica**. 2012. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2014.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica: Ceres Ltda, p.416 – 410, 1985.

MÁS, E. **Apostila 3, Conformação da Peça, A Secagem. Qualidade e Tecnologia em Cerâmica Vermelha**. Polo Produções Ltda, 2003.

MONTEIRO, C. M. O. L. et. al. **Noções Básicas do Processo Produtivo de Cerâmica Vermelha. Centro de Tecnologia da Cerâmica “Wildson Gonçalves”.** SENAI Piauí Teresina. 2007.

MOTTA, A.C.V.; HOPPEN, C.; ANDREOLI, C.V.; TAMANINI, C.R.; FERNANDES, C.V.S.; PEGORINI, E.S.; SOCCOL, V.T. (2005). **Parecer técnico. Disposição final de lodos de estação de tratamento de água.** Curitiba. UFPR, 43 p.

MORETE, G.F.; PARANHOS, R. P.R.; HOLANDA, J.N.F. **Avaliação de algumas propriedades físico-mecânicas de corpos cerâmicos incorporados com resíduo de escória de sondagem.** Revista Matéria v. 11, n. 3, pp. 232 – 237, 2006

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. v. 2.

NORTON, F. H. **Introdução a Tecnologia Cerâmica.** Edgard Blucher Ltda, 1973.

OLIVEIRA, M. J. E. & ASSIS, C. S.: Resíduos de construção: desenvolvimento sustentável, **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2001.

PASCHOAL, J.A.A. **Estudo de parâmetros de qualidade para cerâmica estrutural vermelha.** Dissertação de mestrado. Departamento de engenharia de materiais. Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, São Carlos- SP, 2003.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de Análise Química de Solo e Controle de Qualidade.** IAPAR, Londrina – PR. 1992, 40p.

PIRES, A.M.M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais.** Jaguariúna, 2006.

PORRAS, A. C.; ISAAC, R. L.; MORITA, D. M. **Avaliação do uso conjunto de lodo de estações de tratamento de água e agregado reciclado.** Campinas: SP, 2007.

REBOUÇAS, A. C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **BAHIA ANÁLISE & DADOS**, Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003.

REIS, J. P. **Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos**. Dissertação de mestrado Programa CCT/UEDESC. Joinville, 2007.

RIBEIRO, H. K. S. S. **Avaliação de desempenho ambiental em estações de tratamento de água**. 2003. 158 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, 2003.

SANTOS, P.S. In **Tecnologia de Argilas** Vol. 1 e 2, Editora Edgard Blucher - São Paulo - 1975.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia das argilas**. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, v. 1, 2ª ed, p. 374-390, 1989.

SCALIZE, P. S. **Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto**. 2003. 146 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVA, C. R.; NÓBREGA, J. A.; BLANCO, T.; **Quim. Nova** 2005, 28, 135.

SILVA, N. C. et al. Qualidade dos produtos de cerâmica vermelha na região de São Carlos. **In: 44º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA**. 2000. São Pedro. São Paulo. Anais. São Pedro: ABC. 2000

SOUZA, F.R. (2010) **Compósito de lodo de estação de tratamento de água e serragem de madeira para uso como agregado graúdo em concreto**. 209p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOUZA, J. L. M. **Manual de Construções rurais**. Curitiba: DETR/SCA/UFPR, 1997.
165 p.

TSUTUYA, M. T.; HIRATA, A. Y.; **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, João Pessoa, Brasil, 2001.

TEIXEIRA, V.H. **Construções e ambiência**. Brasília: ABEAS, 1990. 117p.

VIEIRA, C.M.F.; FEITOSA, H.S.; MONTEIRO, S.N. **Avaliação da Secagem de Cerâmica Vermelha Através da Curva de Bigot**. **Cerâmica Industrial** 8(1).
Janeiro/Fevereiro 2003.

VIEIRA C. M. F., MONTEIRO S. N., DUAILIBI FILHO J., **Cerâmica Industrial** 6, 6
(2001) 43.

ANEXO I

Tabela 1. Determinações sobre a Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados	VMP
Líquidos Livres	-		Ausentes	-
Óleos e Graxas	% p/p	0,22	< 0,22	-
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	22,2	-
Corrosividade (b)				
pH (suspensão a 1:1)	-	2 - 13	7,17	2,0 - 12,5
Reatividade (c)				
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,1	0,1	250
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	< 1	500

(b) = Para avaliação da Corrosividade - item "a" do tópico 4.2.1.2 da NBR 10004:2004

(c) = Para avaliação da Reatividade - item "e" do tópico 4.2.1.3 da NBR 10004:2004

Tabela 2. Determinações sobre o Lixiviado obtido de acordo com NBR 10005:2004

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados	VMP
Tempo total de Lixiviação	horas	-	18	16 - 20
Solução de Extração	-	-	1	-
pH Final do Lixiviado	-	-	4,96	-
Inorgânicos				
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	3,39	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Cromo Total	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	1,5	150
Mercurio	mg/L	0,000075	< 0,0008	0,1
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0
Pesticidas				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,003
Clordano (isômeros)	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,02
DDT (Isômeros)	mg/L	0,00001	< 0,00001	0,2
2,4-D	mg/L	0,00005	< 0,00005	3,0
Endrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,06
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00002	< 0,00002	0,003
Lindano (g-HCH)	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,2
Metoxicloro	mg/L	0,00003	< 0,00003	2,0
Pentaclorofenol	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,9
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
2,4,5-T	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,00005	< 0,00005	1,0
Outros Orgânicos				
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzeno(a)pireno	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,07
Cloro de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0

VMP: Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004:2004.

LQ= Limite de Quantificação

Tabela 2. Determinações sobre o Lixiviado obtido de acordo com NBR 10005:2004

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados	VMP
Outros Orgânicos				
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,0001	< 0,0001	200
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,00005	< 0,00005	200
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,13
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,10
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,00001	< 0,00001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,00005	< 0,00005	3,0
Metililecetona	mg/L	2,5	< 2,5	200
Nitrobenzeno	mg/L	0,00005	< 0,00005	2,0
Piridina	mg/L	2,5	< 2,5	5,0
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,0001	< 0,0001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0001	< 0,0001	20

Tabela 3. Determinações sobre o Solubilizado obtido de acordo com NBR 10006:2004

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados	VMP
pH final do solubilizado	-	0 - 14	7,89	-
Inorgânicos				
Alumínio	mg/L	0,01	0,0720	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Bário	mg/L	0,01	0,514	0,7
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	< 0,05	0,07
Cloreto	mg/L	0,5	8,64	250
Cobre	mg/L	0,005	0,00444	2,0
Cromo Total	mg/L	0,01	< 0,01	0,05
Ferro	mg/L	0,01	0,228	0,3
Fluoreto	mg/L	0,1	0,7	1,5
Índice de Fenóis	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Manganês	mg/L	0,01	1,47	0,1
Merúrio	mg/L	0,000075	< 0,00008	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,1	0,23	10,0
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	0,05
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	14,2	200
Sulfato (como SO ₄)	mg/L	1	3,52	250
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,1	< 0,1	0,5
Zinco	mg/L	0,01	0,193	5,0

VMP: Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004:2004.

LQ= Limite de Quantificação

Tabela 3. Determinações sobre o Solubilizado obtido de acordo com NBR 10006:2004

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados	VMP
Orgânicos				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,00003
Clordano (isômeros)	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,0002
2,4-D	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,03
DDT (Isômeros)	mg/L	0,00001	< 0,00001	0,002
Endrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,0006
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00002	< 0,00002	0,00003
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,001
Lindano (gama HCH)	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,002
Metoxicloro	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,02
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,005
2,4,5-T	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,002
2,4,5-TP	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,03

VMP: Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004:2004.

LQ= Limite de Quantificação

Notas

LQ= Limite de Quantificação da amostra (LQ = LQM x fator de preparo da amostra x correção base seca, quando aplicável)

LQM = Limite Quantificação do Método.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada. Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro sem nenhuma alteração.

ANEXO II

		RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE LOTES - RAL <u>tratamento padrão</u>						FQ. 01 - Lab Rev: Jan/17		
Produto:	Dimensões de fabricação	L	H	C	(mm)	Data Análise	Lote:	Verificações em acordo -NBR 15270:2017		
BV 19 19 29		190	190	290		03/01/2019	13/12/2018			
RESULTADO DOS ENSAIOS										
Verificação de acordo com a norma ABNT 15270:2017										
Amostra	Características Geométricas e Físicas							Resistência à Compressão (fb)		
	Largura (L)	Altura (H)	Comprim (C)	Desvio esquadro (D)	Planeza de faces (F)	Área Bruta (Ab)	Abs. Água (AA)	Carga na Ruptura	Amostra	Fbm
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(%)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	194,3	192,4	292,0	1,8	1,6	567,41	17,32%	8,600	1,55	1,55
2	194,0	192,0	290,0	2,0	1,8	562,60	17,49%	6,580	1,19	
3	194,0	192,9	289,4	1,8	1,6	561,44	17,36%	9,010	1,64	
4	194,0	192,9	289,0	1,6	2,0	560,66	19,94%	8,430	1,53	
5	194,2	193,0	290,4	2,0	1,6	563,96	19,88%	9,130	1,65	
6	194,4	193,2	292,0	2,1	1,0	567,65	17,32%	9,390	1,69	
7	194,3	193,4	290,0	2,0	1,0	563,53	17,49%	8,600	1,56	
8	194,0	192,4	289,4	1,8	1,6	561,44	17,36%	6,580	1,20	
9	194,0	192,0	289,0	2,0	1,8	560,66	19,94%	9,010	1,64	
10	194,0	192,9	290,4	1,8	1,6	563,38	19,88%	8,430	1,53	
11	194,2	192,9	292,2	1,6	2,0	567,45	17,32%	9,130	1,64	
12	194,4	193,0	291,8	2,0	1,6	567,26	17,49%	9,390	1,69	
13	194,2	193,2	292,0	2,1	1,0	567,06	17,36%	9,200	1,65	
Média	194,2	192,8	290,6	1,89	1,55	564,19	18,2%	8,58	1,55	
Aceitação Dimensional (LxHxC)	Amostragem de 13 pçs tolerância: Até 2 pçs. ≤ 3mm					Índice Absorção	Max 22% Min 08%			
REQUISITOS DE APROVAÇÃO DA RESISTÊNCIA										
Classe de Resistência	BLOCO ESTRUTURAL = \geq 3 Mpa						Conf.NBR 15270:2017			
OBS: O resultado é válido somente para o lote mencionado acima										
Instrumento Modelo		Data da Calibração			Certificados		Validade			
Máquina Ensaio Compressão		Autonics- MT4W - 100ton			mai/18		I0419/18			
Paquímetro de 500mm		Eletronic - div. 0,01mm			novo					
Paquímetro de 150mm		Digimes - div. 0,01mm			novo					
Balança Digital Magna		Cap. 30kg - resol 5g			novo					

		RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE LOTES - RAL <u>tratamento com 20% de lodo</u>						FQ. 01 - Lab Rev: Jan/17		
Produto:	Dimensões de fabricação	L	H	C	(mm)	Data Análise	Lote:	Verificações em acordo -NBR 15270:2017		
BV 19 19 29		190	190	290		03/01/2019	13/12/2018			
RESULTADO DOS ENSAIOS										
Verificação de acordo com a norma ABNT 15270:2017										
Amostra	Características Geométricas e Físicas						Resistência à Compressão (fb)			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprim (C)	Desvio esquadro (D)	Planeza de faces (F)	Área Bruta (Ab)	Abs. Água (AA)	Carga na Ruptura	Amostra	Fbm
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(%)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	193,0	193,0	290,4	2,0	1,4	560,47	18,44%	11,200	2,04	2,00
2	191,6	191,6	287,0	1,8	1,2	549,89	18,49%	10,400	1,93	
3	192,3	192,3	287,0	1,8	1,4	551,90	18,38%	12,540	2,32	
4	192,6	192,6	288,0	2,0	1,6	554,69	18,32%	10,180	1,87	
5	192,0	192,0	288,0	1,2	1,0	552,96	18,34%	9,400	1,73	
6	193,0	193,0	290,0	2,0	0,8	559,70	18,44%	10,800	1,97	
7	191,6	191,6	290,2	1,8	0,9	556,02	18,49%	10,900	2,00	
8	192,3	192,3	289,9	1,8	0,8	557,48	18,38%	12,540	2,29	
9	192,6	192,6	290,0	2,0	0,6	558,54	18,32%	10,180	1,86	
10	192,0	192,0	288,7	1,2	0,9	554,30	18,34%	10,200	1,88	
11	192,3	192,3	290,4	2,0	0,5	558,44	18,49%	10,400	1,90	
12	192,6	192,6	289,4	1,8	0,8	557,38	18,38%	12,540	2,29	
13	192,0	192,0	291,0	1,9	0,6	558,72	18,26%	10,600	1,93	
Média	192,3	192,3	289,2	1,79	0,96	556,19	18,4%	10,91	2,00	
Aceitação Dimensional (LxHxC)	Amostragem de 13 pçs tolerância: Até 2 pçs. ≤ 3mm					Índice Absorção	Max 22% Min 08%			
REQUISITOS DE APROVAÇÃO DA RESISTÊNCIA										
Classe de Resistência	BLOCO ESTRUTURAL = \geq 3 Mpa						Conf.NBR 15270:2017			
OBS: O resultado é válido somente para o lote mencionado acima										
Instrumento Modelo		Data da Calibração		Certificados		Validade				
Maquina Ensaio Compressão		Autonics- MT4W - 100ton		mai/18		I0419/18		mai/19		
Paquímetro de 500mm		Eletronic - div. 0,01mm		novo						
Paquímetro de 150mm		Digimes - div. 0,01mm		novo						
Balança Digital Magna		Cap. 30kg - resol 5g		novo						

		RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE LOTES - RAL tratamento com 5% de lodo						FQ. 01 - Lab Rev: Jan/17		
Produto:	Dimensões de fabricação	L	H	C	(mm)	Data Análise	Lote:	Verificações em acordo -NBR 15270:2017		
BV 19 19 29		190	190	290		03/01/2019	13/12/2018			
RESULTADO DOS ENSAIOS										
Verificação de acordo com a norma ABNT 15270:2017										
Amostra	Características Geométricas e Físicas						Resistência à Compressão (fb)			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprim (C)	Desvio esquadro (D)	Planeza de faces (F)	Área Bruta (Ab)	Abs. Água (AA)	Carga na Ruptura	Amostra	Fbm
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(%)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	194,0	192,0	288,8	2,0	1,6	560,27	17,46%	9,110	1,66	1,61
2	193,0	191,0	287,4	1,4	1,2	554,68	17,44%	9,720	1,79	
3	192,5	189,0	288,0	1,6	1,2	554,40	17,56%	9,800	1,80	
4	194,3	192,2	289,0	1,4	1,2	561,53	18,06%	7,380	1,34	
5	194,0	192,3	290,3	1,6	1,2	563,18	17,58%	9,390	1,70	
6	193,0	192,8	291,0	1,8	1,1	561,63	18,06%	7,800	1,42	
7	192,8	192,0	290,0	2,0	1,4	559,12	17,46%	9,110	1,66	
8	194,0	191,0	288,8	1,4	1,2	560,27	17,44%	9,720	1,77	
9	193,0	189,0	287,4	1,6	11,0	554,68	17,56%	9,800	1,80	
10	192,5	192,2	288,0	1,4	1,0	554,40	18,06%	9,390	1,73	
11	194,3	192,3	289,0	1,6	1,4	561,53	17,58%	7,900	1,43	
12	194,0	192,8	290,3	1,8	1,6	563,18	18,06%	7,380	1,34	
13	193,0	193,2	291,0	1,8	1,4	561,63	18,02%	7,900	1,43	
Média	193,4	191,7	289,2	1,65	2,04	559,27	17,7%	8,80	1,61	
Aceitação Dimensional (LxHxC)	Amostragem de 13 pcs tolerância: Até 2 pcs. ≤ 3mm					Índice Absorção	Max 22% Min 08%			
REQUISITOS DE APROVAÇÃO DA RESISTÊNCIA										
Classe de Resistência	BLOCO ESTRUTURAL = \geq 3 Mpa						Conf.NBR 15270:2017			
OBS: O resultado é válido somente para o lote mencionado acima										
Instrumento Modelo		Data da Calibração		Certificados		Validade				
Maquina Ensaio Compressão		Autonics- MT4W - 100ton		mai/18		I0419/18		mai/19		
Paquímetro de 500mm		Eletronic - div. 0,01mm		novo						
Paquímetro de 150mm		Digimes - div. 0,01mm		novo						
Balança Digital Magna		Cap. 30kg - resol 5g		novo						