

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CAMILLA MOREIRA ALVES**

**FABRÍCIO VIEIRA RODRIGUES**

**REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DESCARTADOS  
PELA ETA DE ANÁPOLIS - GO**

**ANÁPOLIS / GO  
2015**

**CAMILLA MOREIRA ALVES  
FABRÍCIO VIEIRA RODRIGUES**

**REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DESCARTADOS  
PELA ETA DE ANÁPOLIS - GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: ESPECIALISTA AGNALDO ANTÔNIO  
MOREIRA TEODORA DA SILVA**

**ANÁPOLIS / GO: 2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ALVES, CAMILLA MOREIRA.  
RODRIGUES, FABRÍCIO VIEIRA.

Reaproveitamento dos resíduos descartados pela ETA de Anápolis - GO

76 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Lodo	2. Resistência à Compressão
3. Alvenaria	4. Meio Ambiente
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, C. M. ; RODRIGUES, F. V. Reaproveitamento dos resíduos descartados pela ETA de Anápolis. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 76p. 2015.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Camilla Moreira Alves

Fabício Vieira Rodrigues

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Reaproveitamento dos resíduos descartados pela ETA de Anápolis - GO

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2015

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Camilla Moreira Alves

E-mail: camillamalves@hotmail.com

---

Fabício Vieira Rodrigues

E-mail: fabriciodrigues@hotmail.com

**CAMILLA MOREIRA ALVES  
FABRÍCIO VIEIRA RODRIGUES**

**REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DESCARTADOS  
PELA ETA DE ANÁPOLIS - GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

---

**AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA T. DA SILVA, Especialista  
(ORIENTADOR)**

---

**EDSON NISHI, Mestre  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**RICARDO WOBETO, Mestre  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 26 de novembro de 2015.**

## DEDICATÓRIA

A minha família, especialmente  
a minha amada mamãe  
Aos meus amigos  
Ao meu amigo de projeto e de  
sempre, Fabrício

Camilla Moreira

Ao todo poderoso, meu Deus, que tem  
sempre me escutado e perdoado.  
A minha mãe que sempre acreditou  
na minha vitória, me ajudando em tudo!  
Aos meu amigos fora da faculdade  
que continuaram sendo meus amigos,  
mesmo depois de deixá-los de lado para estudar.  
A minha amiga, companheira de muitas conquistas,  
quase suportável e bastante impaciente, Camilla,  
que de uma certa forma me ajudou a chegar até aqui.

Fabricio Rodrigues

## **AGRADECIMENTOS – Camilla Moreira**

Não me canso de agradecer ao meu Deus, dono da minha vida, que de uma forma celestial me presenteou com essa graduação, apesar de eu nada merecer, além de tudo, me deu forças, ânimo e persistência para não desistir e chegar até aqui com êxito. Toda honra e glória seja dada a Ti por isso!

Aos meus pais, Lucirene e Wellington, pelo apoio, pelo incentivo, pelas inúmeras orações que, com certeza fizeram toda a diferença, por muitas vezes deixarem de lado seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus, e por tudo que fizeram por mim em toda a minha vida, se hoje eu sou o que sou, devo isso a vocês.

Em especial, a minha mãe, que sempre acreditou em mim, me abraçou quando eu mais precisei e me repreendeu quando foi necessário também, a senhora é o maior exemplo de perseverança e justiça que tenho, a melhor pessoa que eu conheço, sempre amiga, prestativa e sincera, queria eu ser pelo menos 10% do que a senhora é. Se eu cheguei até aqui e não desisti, foi pensando em ti e foi por ti.

Aos meus amados irmãos, Carine, Caio e Cauê, pela amizade, compreensão e pela falta dela também, companheirismo e por todos os risos sinceros e os momentos vividos, vocês são demais!

Aos meus familiares e amigos, que me apoiaram e me ajudaram.

Agradeço aos meus amigos de curso, em especial ao Fabrício, a Jaiane e a Jhénifer, os de sempre, pelos aprendizados compartilhados, por sorrirem e chorarem comigo, pela amizade verdadeira, vocês foram excepcionais e imprescindíveis durante todos esses anos. Vivemos momentos que eu jamais me esquecerei!

Ao meu amigo e autor do projeto, Fabrício Rodrigues, pela amizade, companheirismo, paciência, por aceitar o desafio de trabalhar comigo nesse projeto e em tantos outros, pela presença constante em longas horas de estudo, que se tornaram menos cansativas e mais agradáveis ao seu lado, você foi mais que um amigo, foi um irmão, você é o cara!

Aos meus líderes espirituais, que sempre se fizeram presentes através das suas orações.

Ao querido professor e orientador, Agnaldo Antônio, por nos ajudar com seus ensinamentos, pela paciência, pelo grande auxílio na escolha do tema, sua dedicação e atenção. Você é o melhor!

## **AGRADECIMENTOS – Fabrício Rodrigues**

Realmente não foi fácil, e sinceramente, seria menos ainda se não fosse o apoio que recebi de cada um que esteve a minha volta durante estes cinco anos.

Começo agradecendo ao meu Deus, ao criador dos céus e da terra, ao misericordioso, pai de todos nós, que sempre escutou minhas orações, me compreendeu e nunca me abandonou, mesmo não sendo merecedor.

Aos meus familiares, que acreditaram no meu potencial, que estão fazendo deles a minha vitória, e até mesmo aos que não acreditaram, mas viram que não devemos julgar o potencial de ninguém antes mesmo de conhecê-lo.

Em especial a minha amiga, minha confidente, minha rainha, o meu muito obrigado "mãe", por nunca desistir de persistir, por não me deixar fraquejar, por me apoiar nos momentos mais difíceis.

Ao companheirismo dos meus amigos da faculdade, em especial a Camilla, Jaiane, Jhénifer, Sullivan, Victor, Vinícius Araújo, Vinícius César, Renato e Marcelo, que sempre procurei ajudá-los e claro, sempre fui ajudado. Obrigado meus verdadeiros amigos, e acreditem que jamais serão esquecidos, e no que depender de mim, estarei sempre presente em suas vidas!

E não poderia faltar, a minha família adotiva, que por mais doída que fosse a queda, todos sempre caíram comigo, e por incrível que pareça, todos estão de pé, junto a mim, me aplaudindo. Obrigado Amparo, Nilson, Alexandre e Diogo, por fazerem parte da minha história.

Aos professores que foram primordiais nesta caminhada, em especial ao Professor Agnaldo, que nos guiou até aqui neste projeto.

## **AGRADECIMENTOS – Camilla e Fabrício**

Ao nosso grandioso Deus, que nos deu a vida, nos permitiu sonhar e realizar esse sonho, que nos capacitou diante de todas as dificuldades e derramou sua graça infinita sobre nós.

A todos os professores, que durante esses 5 anos contribuíram e enriqueceram nossos conhecimentos em toda nossa vida acadêmica.

Ao nosso amigo, professor e orientador, Agnaldo Antônio, que além de nos ensinar durante todo o curso, aceitou nos ajudar nesse projeto do início ao fim, que com paciência e dedicação nos mostrou o caminho a ser seguido.

Ao diretor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis, Rogério Santos Cardoso, por suas aulas excepcionais e por nos dar a oportunidade de realizar nossa pesquisa.

A todos os funcionários do Centro Universitário de Anápolis, que de alguma forma contribuíram para o sucesso desse projeto, em especial ao pessoal do centro tecnológico, que nos auxiliaram com tanta dedicação nos vários ensaios realizados. Vocês serão lembrados sempre!

Ao Victor, que nos ajudou de uma maneira honrosa. Você foi muito importante para o sucesso da nossa pesquisa!

Portanto, aos que contribuíram para a realização deste. O nosso muito obrigado!

Perguntaram a Dalai Lama:

O que mais te surpreende na Humanidade?

E ele respondeu: “Os homens. Porque perdem a saúde para juntar dinheiro, depois perdem dinheiro para recuperar a saúde. E por pensarem ansiosamente no futuro, esquecem do presente de tal forma que acabam por não viver nem o presente nem o futuro. E vivem como se nunca fossem morrer... e morrem como se nunca tivessem vivido.”

## RESUMO

Devido a crescente necessidade de se conciliar desenvolvimento social e econômico com a preservação do planeta, notícias sobre a existência de estudos e propostas de construção com materiais não convencionais chegam de toda a parte do país. Segundo estudo do *Green Building Council* (ARQ!BACANA, 2012), órgão que influencia o mercado da construção civil, o Brasil está em quarto lugar no *ranking* mundial de construções sustentáveis, atrás apenas dos Estados Unidos, Emirados Árabes e China. Atualmente, a sustentabilidade vai além de separar o lixo orgânico do reciclável. A alvenaria de tijolo maciço é conhecida por não ser constituída de espaços vazios, possuindo uma forma retangular e cor avermelhada, devido sua matéria-prima ser a argila. Sua fórmula primitiva vem sendo utilizada desde o terceiro milênio antes do nascimento de Cristo. Desde então, suas dimensões sofreram alterações se adequando as necessidades do mercado. O projeto apresentado tem como objetivo adicionar a composição inicial do tijolo maciço um Lodo resultante do tratamento de água da ETA de Anápolis, que em sua totalidade é descartado no córrego das Antas. Desta forma, analisou-se sua viabilidade, apresentando a redução, permanência ou aumento da resistência do tijolo maciço e, ao mesmo tempo, contribuir para a sustentabilidade desse processo.

Palavras-chave: Tijolo maciço. Sustentabilidade. Resistência à compressão. Lodo.

## **ABSTRACT**

Due to growing need to reconcile social and economic development with the preservation of the planet, News of the existence of studies and construction proposals with unconventional materials come from all over the country. According to a study of the Green Building Council (ARQ! BACANA, 2012), the body that influence the construction market, Brazil is fourth in the world ranking of green building, behind the United States, United Arab Emirates and China. Currently, sustainability goes beyond separate organic waste from recyclable. The massive brick masonry is known to be composed of voids, having a rectangular shape and reddish color because its raw material is clay. Its original formula has been used since the third millennium before the birth of Christ. Since then, its dimensions have changed if adapting to market needs. The project presented aims to add the initial composition of the solid brick one resulting sludge from the water treatment of the Annapolis ETA, which in its entirety is disposed in the stream of Antas. Thus, their viability was analyzed, showing the reduction, retention and increase of the solid brick resistance and at the same time contribute to the sustainability of that process.

**Keywords:** Massive brick. Sustainability. Resistance to compression. Sludge.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1 – Chegada da água bruta à ETA.....	25
Figura 2 – Adição de cal hidratada e sulfato de alumínio.....	26
Figura 3 – Formação de flocos.....	26
Figura 4 – Decantação das partículas.....	27
Figura 5 – Processo de filtragem.....	27
Figura 6 – Reservatório.....	29
Figura 7 – Etapas de tratamento até a distribuição.....	29
Figura 8 – Posicionamento do escantilhão.....	38
Figura 9 – Colocação da linha de marcação.....	38
Figura 10 – Assentamento de tijolos guia.....	39
Figura 11 – Elevação de alvenaria com escantilhão.....	39
Figura 12 – Assentamento de vergas e contravergas.....	40
Figura 13 – Pesagem da amostra em sua umidade natural.....	45
Figura 14 – Estufa à temperatura de 110°C.....	45
Figura 15 – Pesagem da amostra após secagem.....	45
Figura 16 – Pesagem da massa seca.....	46
Figura 17 – Água destilada inserida no becker.....	47
Figura 18 – Amostra inserida na água destilada.....	47
Figura 19 – Aferição da diferença de água.....	47
Figura 20 – Calibração do pH-metro.....	48
Figura 21 – Pesagem de 20g do material seco.....	48
Figura 22 – Homogeneização.....	49
Figura 23 – Medição do pH.....	49
Figura 24 – Tijolos logo após moldagem.....	50
Figura 25 – Forma de madeira.....	50
Figura 26 – Aferição das medidas.....	51
Figura 27 – Cerâmica Morada Nova.....	51
Figura 28 – Queima dos tijolos.....	52
Figura 29 – Corte dos tijolos.....	53
Figura 30 – Preparo da pasta de cimento.....	53
Figura 31 – Capeamento de uma das faces.....	54
Figura 32 – Nivelamento das faces.....	54
Figura 33 – Imersão dos corpos de prova na água.....	54
Figura 34 – Prensa pronta para rompimento.....	55

Figura 35 – Moldagem dos tijolos.....	56
Figura 36 –Pesagem do lodo.....	56
Figura 37 – Montagem dos prismas.....	57
Figura 38 – Preparo da argamassa.....	57
Figura 39 – Capeamento das primeiras faces.....	58
Figura 40 – Nivelamento dos prismas.....	58
Figura 41 – Imersão dos prismas em água.....	58
Figura 42 – Prensa pronta para rompimento.....	59
Figura 43 – Ruptura do Bloco – fissura vertical.....	63
Figura 44 – Caracterização dos tijolos maciços.....	64
Figura 45 – Ruptura do prisma – fissura vertical.....	67

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico</b>	<b>Página</b>
Gráfico 1 – Comparação entre a adição de lodo e resistência dos blocos individuais.....	62
Gráfico 2 – Comparação entre a adição de lodo e resistência dos prismas.....	67

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
Tabela 1 – Quantitativo e composição dos tijolos.....	50
Tabela 2 – Quantitativo e composição dos tijolos para os prismas.....	55
Tabela 3 – Características dimensionais dos blocos individuais capeados.....	60
Tabela 4 – Resistência à compressão bloco individual.....	61
Tabela 5 – Obtenção da resistência característica ( $f_{bk}$ ) dos blocos individuais.....	63
Tabela 6 – Características dimensionais dos tijolos.....	64
Tabela 7 – Características dimensionais dos prismas capeados.....	65
Tabela 8 – Resistência à compressão dos prismas.....	66
Tabela 9 – Obtenção da resistência característica ( $f_{bk}$ ) dos prismas.....	67
Tabela 10 – Características dimensionais dos tijolos.....	68
Tabela 11 – Resistência máxima por categoria.....	68

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
ETA	Estação de Tratamento de Água
GO	Goiás
NBR	Normas Brasileiras
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PH	Potencial Hidrogeniônico
RJ	Rio de Janeiro
SANEAGO	Saneamento de Goiás

## LISTA DE SÍMBOLOS

Cm	Centímetro, unidade de medida linear
cm <sup>2</sup>	Centímetro quadrado, unidade de medida de área
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico, unidade de medida de volume
f <sub>bk</sub>	Resistência à compressão característica dos blocos
f <sub>bm</sub>	Resistência média dos blocos
f <sub>pm</sub>	Resistência Média dos Prismas
Kg	Kilograma, unidade de medida de peso
kg/m <sup>2</sup>	Quilograma por metro quadrado, unidade de medida de área
m	Metro, unidade de medida linear
mm	Milímetro, unidade de medida linear
m <sup>2</sup>	Metro quadrado, unidade de medida de área
mm <sup>2</sup>	Milímetro quadrado, unidade de medida de área
Mpa	Megapascal, unidade de medida de tensão
N	Newton, unidade de medida de força
Sd	Desvio padrão
$\nu$	Coefficiente de Poisson

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.2 OBJETIVOS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.2.1 Objetivo Geral .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.2.2 Objetivos Específicos .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.3 METODOLOGIA .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.3.1 Teor de Umidade .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.3.2 Caracterização da Massa Específica .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.3.3 PH (Potencial Hidrogeniônico) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.3.4 Determinação da resistência à compressão .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.1 REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1 Etapas do Tratamento de Água .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1.1 Captação .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1.2 Coagulação .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1.3 Floculação .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1.4 Decantação .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1.5 Filtração .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1.6 Cloração .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1.7 Fluoretação .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1.8 Reservação .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.1.9 Distribuição .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.3 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DESCARTADOS PELAS ETA's .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4 ALVENARIAS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.1 Classificação .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.2 Características .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.3 Função .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.4 Execução .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

2.4.5 Reuso na Produção de Alvenaria .....	Erro! Indicador não definido.
2.4.6 Ensaio de Caracterização.....	43
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	Erro! Indicador não definido.
3.2 ENSAIOS PRELIMINARES .....	Erro! Indicador não definido.
3.2.1 Teor de Umidade do Lodo .....	Erro! Indicador não definido.
3.2.2 Caracterização da Massa Específica do Lodo.....	Erro! Indicador não definido.
3.2.3 PH (Potencial Hidrogeniônico) do Lodo.....	Erro! Indicador não definido.
3.3 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS PARA ROMPIMENTO INDIVIDUAL.....	Erro! Indicador não definido.
3.3.1 Fabricação Tijolos Cerâmicos Maciços .....	Erro! Indicador não definido.
3.3.2 Preparo para Rompimento .....	Erro! Indicador não definido.
3.4 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS PARA ROMPIMENTO DE PRISMAS .....	Erro! Indicador não definido.
3.4.1 Fabricação Tijolos Cerâmicos Maciços .....	Erro! Indicador não definido.
3.4.2 Preparo para Rompimento .....	Erro! Indicador não definido.
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS ...</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS INDIVIDUAIS	Erro! Indicador não definido.
4.1.1 Determinação das Dimensões .....	Erro! Indicador não definido.
4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS PRISMAS.....	Erro! Indicador não definido.
4.2.1 Determinação das Dimensões .....	Erro! Indicador não definido.
4.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS .....	Erro! Indicador não definido.
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, devido o crescimento populacional e o elevado consumo de água no setor produtivo, principalmente nas grandes capitais, tem-se como consequência a influência direta na demanda de água do país, tornando-se fundamental a ampliação das ETA's (Estação de Tratamento de Água) existentes, o que eleva consideravelmente a quantidade de resíduos gerados pelos tanques de decantação, onde, geralmente grande parte não tem fins de reutilização, sendo descartados nos mananciais ou nascentes mais próximos.

Segundo a SANEAGO de Anápolis - GO, responsável pela ETA em estudo, informou que a mesma atende uma demanda de 300.000 l/dia e descarta em sua totalidade os resíduos no "Rio das Antas", situado na porção sudoeste da cidade, com uma área de aproximadamente 17 km<sup>2</sup> e afluente pela margem direita do rio Corumbá.

Os resíduos gerados causam um impacto negativo ao meio ambiente bem como: assoreamento dos rios, impacto no crescimento de plantas aquáticas, alteração nas propriedades físico-químicas da água, aumento na quantidade de sólidos, mudança de cor e turbidez, aumento da concentração de alumínio e ferro, além de, gradativamente, causar possíveis riscos à saúde pública. Fatos estes, constatados por Jesus (2006), evidenciando vários fatores de degradação do rio, tendo como causa não apenas a influência do descarte de lodo da ETA, mas também pelo descarte impróprio de esgoto e sobrecarga de águas pluviais.

Existem pesquisas realizadas a respeito dessa reutilização do lodo, voltadas para a fabricação de blocos cerâmicos, concluindo que "As adições de lodo na confecção dos blocos não afetaram o desempenho dos mesmos frente aos ensaios normalizados, sendo observados melhores resultados com adição crescente até 10% de lodo a massa cerâmica. A utilização de lodo na indústria de produtos cerâmicos mostrou-se viável tecnicamente, no limite de 15% da massa cerâmica. Caso a ETA esteja localizada a uma distância inferior a região de extração de insumos argilosos (argila gorda), é possível que também se justifique a viabilidade econômica desta utilização." (ABES, 2013).

O presente trabalho pretende estudar as composições destes resíduos e a possível reutilização na construção civil, reduzindo assim os impactos causados pela disposição inadequada do lodo. A partir da coleta da amostra, será feito a desidratação, por meio de um lento processo, e em seguida encaminhada a uma indústria cerâmica, incorporando a matéria

prima à fabricação de tijolos maciços. O mesmo busca reinserir esta idéia de forma a auxiliar a sociedade na luta contra a degradação ambiental, gerando oportunidade de novos empregos e, ao mesmo tempo, fins lucrativos.

Tem-se como maior desafio, a conscientização dos responsáveis pelas ETA's de que existem formas diferentes de reutilização deste material, voltadas diretamente ao auxílio contra a degradação do meio ambiente, dissipando idéias e agregando conhecimento aos que ainda não compartilham dos métodos existentes, assim como a reciclagem, que a vários anos se tornou aliada dessa luta e primordial para que o processo de sustentabilidade siga em frente.

A partir de testes em laboratório, realizando ensaios de compressão a fim de avaliar a resistência do tijolo, será possível utilizá-los em pequenas e médias construções. Um exemplo interessante seria revertê-los ao Estado, utilizando-os na construção de casas populares, o que demanda grande quantidade de material.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Devido à grande discussão atual sobre impacto ambiental e sua influencia na redução da quantidade de água que pode ser aproveitada para consumo, surgiu a necessidade de encontrar um tema que contribuísse para a redução do impacto ambiental e proporcionasse benefícios a sociedade. Dessa forma observou-se que o lançamento de resíduos do material decantado, proveniente das estações de tratamento de água, trazia sérios problemas ambientais na região de descarte. Assim, o trabalho visa encontrar uma solução para redução do impacto e recuperação do rio em questão.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Moldar tijolos maciços utilizando resíduos coletados na ETA da cidade de Anápolis, buscando apresentar novas maneiras de impedir a degradação do meio ambiente e ao mesmo tempo o risco à saúde da população.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

a) coletar os resíduos decantados pela ETA de Anápolis;

- b) realizar os testes necessários para obtenção das composições da matéria prima;
- c) apresentar os resultados dos testes, comprovando a possível reutilização dos resíduos coletados;
- d) determinar um traço adequado à resistência solicitada para a moldagem do tijolo;
- e) determinar a resistência solicitada para blocos;
- f) indicar qual tipo de obra é mais apropriado para aplicação dos mesmos.

### 1.3 METODOLOGIA

A fim de se obter a exatidão nos resultados, os quais serão posteriormente apresentados na finalização do estudo, visando a preservação do meio ambiente e economia através da reciclagem, pretende-se realizar os procedimentos normativos necessários, segundo a NBR 6457 (ABNT, 1986).

#### 1.3.1 Teor de Umidade

Ao determinar o teor de umidade, o lodo será colocado em estufa a 110°C por 24h e, após esse período, o material resultante será pesado, comparando-o a massa inicial, indicando assim, através da diferença encontrada, a quantidade de perda de água por evaporação.

#### 1.3.2 Caracterização da Massa Específica

Para caracterização da massa específica, será realizado um ensaio utilizando-se um procedimento básico de relação massa x volume com o auxílio de uma proveta e uma balança analítica.

#### 1.3.3 PH (Potencial Hidrognônico)

A medição de pH será feita de modo simples e comum, utilizando-se um eletrodo de pHmetro em contato com uma amostra de lodo previamente misturada em 100 mL de água destilada.

#### **1.3.4 Determinação da resistência à compressão**

Na identificação qualitativa e quantitativa de cada constituinte para obtenção das amostras de tijolos, será incorporado de 0 a 20% de lodo da ETA à matéria prima convencional dos mesmos.

Para determinação da resistência, será utilizada a prensa hidráulica universal, conforme NBR 5739 (ABNT, 2007), submetendo os CPs à pressão aumentada progressiva, até ruptura.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O mundo atual deve se mover pelo conceito de sustentabilidade, pois há, de um lado a escassez de importantes recursos até então abundantes na natureza e, por outro lado, a necessidade cada vez mais crescente de realizar ações voltadas para a conservação do meio ambiente, sobretudo, do solo, da água e do ar.

Neste contexto, a idéia de sustentabilidade se apóia nos “Três erres”: redução do consumo, reutilização e reciclagem.

Em se tratando de materiais para a construção civil, a melhor opção é a reutilização que, de acordo com a Resolução CONAMA 307:2002, consiste no processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo. Em outras palavras, o resíduo é usado da forma em que se encontra ou como matéria-prima para a construção de um novo material.

A reutilização consiste no aproveitamento do resíduo nas condições em que ele é descartado, sem qualquer alteração física, submetendo-o a pouco ou nenhum tratamento; exigindo apenas operações de limpeza, embelezamento, identificação, entre outras, modificando ou não a sua função original. O material não muda. (TEIXEIRA, 2009, p. 26).

O pensamento de Teixeira (2009) está em consonância com a definição da Resolução CONAMA sobre o processo de reutilização de resíduos da construção civil. De acordo com a resolução citada, os resíduos reutilizáveis são os oriundos de construção e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem.

A existência de um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) tem caráter obrigatório imposto pela Resolução CONAMA. Tal plano deve contemplar as seguintes etapas:

- I. Caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;
- II. Triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador, na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade;
- III. Acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;

IV. Transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;

V. Destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido na Resolução CONAMA (reutilização ou reciclagem).

Estas etapas são importantes para que todo material a ser reutilizado, receba os cuidados necessários para que não sofra danos ou alterações que inviabilizem o seu uso.

De acordo com Addis (2010) há três motivos principais pelos quais o reaproveitamento de produtos e materiais de construção civil se concretizem como uma realidade presente e estará em crescimento nos próximos anos. São eles:

- a redução do impacto ambiental, causado pela construção civil;
- o alcance de benefícios aos projetos de construção, como a obtenção de Alvarás de construção e a redução de custos;
- a melhoria da reputação dos profissionais envolvidos com esse setor.

Como se verifica, são vários os benefícios da reutilização de resíduos da construção civil; porém, o principal motivo para o reuso é reduzir o impacto que nossa sociedade causa no meio ambiente.

Addis (2010) também chama a atenção para o fato de que o reuso de componentes construtivos bem como a reciclagem de materiais não são conceitos novos; ao contrário, até o século XIX esta era uma prática comum em todo o mundo e, nos dias de hoje, continua sendo em países subdesenvolvidos.

É indispensável ressaltar que nos casos de demolições, se os principais resíduos não puderem ser reutilizados em seu local original, pode ser possível reutilizá-los em um novo local.

Também é preciso levar em conta que os materiais, componentes e equipamentos de construção são regidos por fatores como: a forma como a construção foi executada no passado, a durabilidade da construção e de seus componentes construtivos; os métodos empregados na desconstrução e demolição, a demanda por produtos e materiais reaproveitados, dentre outros.

Sobre a reutilização dos resíduos da construção civil, Isaia (2010) salienta que o setor da Construção Civil é uma área chave para o desenvolvimento sustentável, por sua capacidade de retratar a sociedade na sua procura por segurança, conforto e bem-estar.

A grande vantagem está no fato de se tratar de um setor econômico particularmente amplo, constituído por cadeias produtivas técnicas que exploram recursos renováveis ou não, transformam as matérias-primas em produtos técnicos cada vez mais evoluídos e montam o conjunto num produto final relativamente complexo.

Para Isaia (2010), nesta perspectiva de desenvolvimento sustentável, a sociedade deverá ser capaz de encontrar as inovações necessárias para vencer desafios como:

- redução da poluição, incluindo a redução da emissão de gases que causam o efeito estufa;
- economia de energia e emprego de energias renováveis;
- redução de consumo de materiais não renováveis e proteção da natureza, pela combinação do uso de resíduos como matérias primas e pela desmaterialização da construção;
- uso racional da água;
- proteção da saúde humana e melhoria da qualidade de vida.

Praticamente todos os materiais utilizados na Construção Civil podem ser reaproveitados, ou seja, desde o piso até os materiais de acabamento, incluindo aqueles utilizados nas instalações hidráulicas, elétricas, sanitárias, janelas, portas e outros.

Atualmente, há um grande número de edificações que podem ser reutilizadas total ou parcialmente, ou que podem ser uma fonte de produtos e materiais de construção que poderiam ser coletados e reconicionados para reuso.

É indispensável o parecer de um especialista que consiga enxergar o potencial para reuso total de uma construção. Assim, se um prédio está para ser demolido, é indispensável que se faça: um inventário de materiais, componentes, instalações e equipamentos e uma avaliação do potencial econômico da remoção para coleta e reuso.

Também é importante que se faça um levantamento e um aconselhamento quanto a demolidoras que garantem o mínimo possível de danos a componentes que serão reutilizados.

Mais importante se torna fazer um aconselhamento sobre a duração e aos custos de demolição, envolvendo demolição seletiva e desmontagem cuidadosas, em comparação com a demolição comum.

Por fim, é indispensável que se faça uma pesquisa e um aconselhamento com um especialista quanto ao valor de mercado de quaisquer produtos sem necessidade de reuso imediato, mas com potencial de venda para o mercado de componentes arquitetônicos recuperados de demolições.

Na concepção de Addis (2010) a disponibilidade de produtos e materiais reaproveitáveis no mercado depende de uma variedade de fatores tais como:

- a) facilidade de remoção de uma construção em demolição ou de serem desmontados sem sofrer danos;
- b) esses materiais são essencialmente valiosos, raros;
- c) a escassez desses materiais no mercado;
- d) existência de uma infra-estrutura de comercialização;
- e) facilidade de transporte e armazenamento;
- f) existência de demanda;
- g) existência de oferta;
- h) possibilidade de condicionamento para reuso.

Todos estes fatores são indispensáveis para que o material ou produto possa continuar tendo vida útil e possa ser reutilizado com eficácia e eficiência.

Levando em conta o que já foi explicitado, pode-se dizer que o valor do reuso de componentes estruturais de outro prédio pode ser ambiental, reduzindo a utilização de recursos primários e os impactos dos processos de fabricação e transporte. Também pode ser comercial, o produto reutilizado é mais barato.

Quando se fala em reuso, é importante salientar que toda forma de reutilização é fundamental; porém, há um elemento cujo reaproveitamento é quase que uma questão de sobrevivência. Trata-se da madeira, que além de ser reaproveitada, é necessário que a mesma seja oriunda de áreas de reflorestamento, inclusive com procedência certificada por órgãos competentes.

Destacamos a madeira pelo fato de que, de todos os materiais de construção, este é aquele cuja exploração causa impactos mais profundos e extensos. Porém, tudo o que for possível deve ser reutilizado.

No futuro, o mercado de produtos e materiais de construção reutilizados será fortemente influenciado pela maneira como as edificações são projetadas e construídas hoje. Portanto, é indispensável que as construções atuais sejam feitas levando em consideração não apenas a possibilidade, mas a necessidade de reuso dos materiais que estão sendo utilizados.

## 2.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

A água captada de rios ou represas vem com folhas, peixes, lodo e muitas bactérias. Para chegar às casas limpa e sem cheiro, ela passa cerca de três horas dentro de uma estação de tratamento (ETA), o que inclui fases de decantação da sujeira, filtragem e adição de cloro e flúor, entre outras etapas. Segundo dados do IBGE, essa superoperação de limpeza atende a maior parte da população do país: 80% dos brasileiros têm acesso à água tratada (PIVOTTO, 2007).

### 2.2.1 Etapas do Tratamento de Água

#### 2.2.1.1 Captação

A água passa por um sistema de grades que impede a entrada de elementos macroscópicos grosseiros (animais mortos, folhas, etc.) no sistema. Parte das partículas está em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução (Figura 1), e por ter dimensões muito reduzidas (como a argila, por exemplo), não se depositam, dificultando a remoção (VASCONCELOS, 2015).

Figura 1 – Chegada da água bruta



Fonte: Próprio autor.

#### 2.2.1.2 Coagulação

Visa aglomerar essas partículas, aumentando o seu volume e peso, permitindo que a gravidade possa agir. Isso é feito, geralmente, através da adição de cal hidratada (hidróxido de cálcio) e sulfato de alumínio (Figura 2), sendo agitada rapidamente. Esses materiais fazem as partículas de sujeira se juntarem (CAESB, 2015).

Figura 2 – Adição de Cal Hidratada e Sulfato de Alumínio



Fonte: Próprio autor.

### 2.2.1.3 Floculação

A água é agitada lentamente, para favorecer a união das partículas de sujeira, formando os flocos (Figura 3). Em solução alcalina, o sulfato de alumínio reage com íons hidroxila, resultando em polieletrólitos de alumínio e hidroxila (policátions) com até 13 átomos de alumínio. Esses polieletrólitos de alumínio atuam pela interação eletrostática com partículas de argila carregadas negativamente e pelas ligações de hidrogênio devido ao número de grupos OH, formando uma rede com microestrutura porosa (flóculos) (CAESB, 2015).

Figura 3 – Formação de flocos



Fonte: Próprio autor.

#### 2.2.1.4 Decantação

A água não é mais agitada e os flocos vão se depositando no fundo, separando-se da água. O lodo do fundo é conduzido para tanques de depuração (Figura 4). O ideal é que ele seja transformado em adubo, em um biodigestor. A água mais limpa vai para o filtro de areia (VASCONCELOS, 2015).

Figura 4 – Decantação das partículas

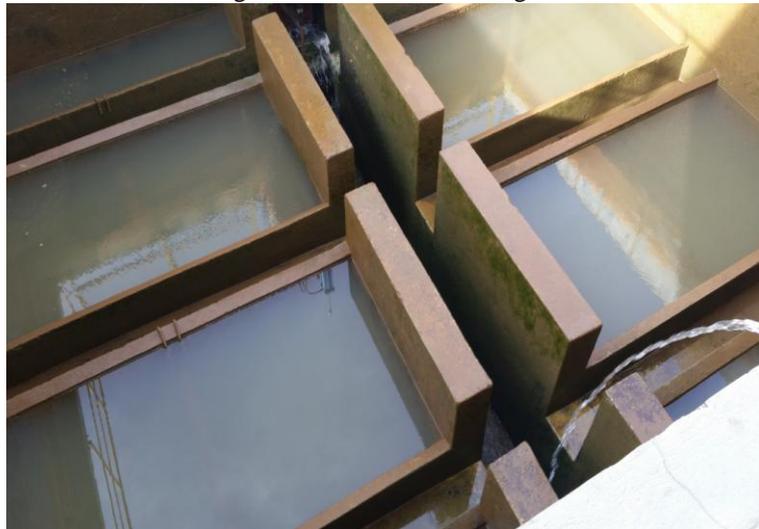


Fonte: Próprio autor.

#### 2.2.1.5 Filtração

A água já decantada passa por um filtro (Figura 5) de cascalho/areia/antracito (carvão mineral), onde vai se livrando dos flocos que não foram decantados na fase anterior e de alguns microrganismos (VASCONCELOS, 2015).

Figura 5 – Processo de filtração

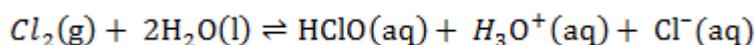


Fonte: Próprio autor.

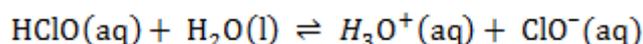
### 2.2.1.6 Cloração

A água filtrada está limpa, mas ainda pode conter microrganismos causadores de doenças. Por isso, ela recebe um produto que contém cloro, que mata os microrganismos. Na água, o cloro age de duas formas principais: **a)** como desinfetante, destruindo ou inativando os microrganismos patogênicos, algas e bactérias de vida livre; e **b)** como oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos presentes (VASCONCELOS, 2015).

Quando o cloro é adicionado a uma água isenta de impurezas, ocorre a seguinte reação:



Dependendo do pH da água, o ácido hipocloroso (HClO) se ioniza, formando o íon hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ), segundo a reação a seguir:



Ambos os compostos possuem ação desinfetante e oxidante; porém, o ácido hipocloroso é mais eficiente do que o íon hipoclorito na destruição dos microrganismos em geral.

### 2.2.1.7 Fluoretação

Nas grandes cidades brasileiras a água tratada ainda recebe o flúor, que ajuda a prevenir a cárie dentária (CAESB, 2015).

### 2.2.1.8 Reservação

A água tratada é armazenada em grandes reservatórios, antes da distribuição (Figura 6). Esses reservatórios sempre são instalados nos locais mais altos das cidades (CAESB, 2015).

Figura 6 – Reservatório



Fonte: < [http://www.panoramio.com/user/7203581?comment\\_page=2&photo\\_page=92](http://www.panoramio.com/user/7203581?comment_page=2&photo_page=92)> Acesso em: 25 set. 2015.

### 2.2.1.9 Distribuição

A água tratada é distribuída para as residências, comércio e indústria a partir dos reservatórios de água potável (Figura 7).

A correção de PH é feita quando se coloca cal hidratada ou carbonato de sódio, corrigindo uma possível alcalinidade da água (PH). Este procedimento também previne uma possível corrosão futura da rede de encanamento que irá distribuir a água tratada (VASCONCELOS, 2015).

Figura 7 – Etapas de tratamento até a distribuição



Fonte: < <http://www.sanebavi.com.br/?idt=43>> Acesso em: 25 set. 2015.

### 2.3 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DESCARTADOS PELAS ETA'S

A reutilização de materiais de construção tem sido uma prática cada vez mais constante na sociedade atual, quer pela redução dos custos da construção, quer pela diminuição dos impactos ambientais ou pela própria racionalização de alguns tipos de materiais, sobretudo, a madeira.

O que se verifica é o desenvolvimento de uma nova consciência voltada para a sustentabilidade, muito embora a reutilização de resíduos da construção seja uma prática já bastante antiga; no entanto, com objetivos meramente econômicos. A esse respeito, Addis (2010), postula que...

A idéia de lixo ou desperdício é, em si, um conceito que faz parte da sociedade do joga fora, e não da sociedade do reutilize e recicle. Os primeiros esforços feitos na tentativa de mudar nossa idéia sobre a vida útil dos materiais tendiam a focar o problema no desperdício; em outras palavras, o que poderia ser feito para usar a montanha de materiais jogados fora. Essa foi a diretriz adotada na década de 1990. (ADDIS, 2010. p. 35).

Mas, é importante dizer que atualmente as pessoas já perceberam que desperdiçar representa uma prática retrograda, na verdade, tal prática é vista como um problema. Felizmente, cada vez mais e mais pessoas têm olhado para este assunto sob a perspectiva da vida útil dos materiais e as diferentes correntes de materiais que podem ser traçadas pelos processos de fabricação na indústria da construção.

Ainda tomando como base o pensamento de Addis (2010), pode-se dizer que a maneira mais eficaz de lidar com o lixo é não produzi-lo e, em vez de ver materiais que chegam ao fim de sua vida útil como um problema, eles podem ser vistos como uma oportunidade.

Em relação ao reaproveitamento de resíduos produzidos pelas estações de tratamento de água, que é o objeto deste trabalho, é importante salientar que, de uma forma geral, a produção de água para abastecimento público, realizadas pelas Estações de Tratamento de Água (ETA) é responsável pela geração de resíduos originados durante a remoção de material solubilizado e partículas em suspensão na água bruta.

Na maioria dos casos, esse resíduo, uma espécie de lodo, é descartada nos cursos de água mais próximos, causando o assoreamento dos mesmos e, desta forma, gerando, a médios e longos prazos impactos ambientais.

Porém, é importante lembrar que esses resíduos podem ser reaproveitados com diversas finalidades, dentre as quais está seu uso como matéria prima para a fabricação de tijolos.

O artigo de Machado e Araújo (2014) relata uma experiência de confecção de tijolos ecológicos, na qual utilizou – se de um solo retirado do município de Volta Redonda – RJ, resíduos da construção civil misto de uma empresa do Norte – Fluminense e o lodo proveniente de uma ETA, que utilizou como agente coagulante o sulfato de alumínio, localizada no vale do Paraíba, mais cimento CP – II, do fabricante Votorantin.

Segundo as autoras, o lodo foi coletado e armazenado em bombonas<sup>1</sup>, depois foi disposto em bandejas e em tecidos sintéticos para secagem por evaporação. Após este processo, o lodo foi destorroado e disponibilizado para a mistura.

De acordo com o artigo, o solo utilizado foi submetido ao processo de secagem por 48h a uma temperatura de 40°C em estufa, o mesmo procedimento foi adotado para os resíduos provenientes de construção e demolição.

Para a confecção dos tijolos, foi utilizado 50% de solo; 30% de resíduos reciclados; 10% de lodo e 10% de cimento. As dimensões dos tijolos foram 25 x 12,5 x 6,5 cm.

De acordo com os relatos, uma vez confeccionados, os tijolos foram armazenados por 24h e depois encaminhados para imersão para o procedimento de cura. O ensaio de compressão foi realizado em conformidade com a NBR 8491 (ABNT, 2012).

As autoras ressaltam que a conclusão a que chegaram é a seguinte: todos os materiais pré-cursos utilizados encontram-se em uma faixa ideal em relação ao PH, porém, é recomendada a utilização de um solo com uma porcentagem maior de silte e argila, para obter melhor compressão dos tijolos. Recomenda-se também que o lodo da ETA esteja totalmente seco.

Outra experiência é relatada por Sampaio (2012) em um artigo no qual ele indica várias destinações dadas ao lodo de ETA, no qual ele apresentou os resultados de uma experiência sobre a incorporação do lodo da ETA de Cubatão na indústria de bloco cerâmico. O projeto faz parte de um convênio entre o Estado de São Paulo e uma empresa do Canadá. A produção média diária de lodo ETA em Cubatão é de vinte e cinco toneladas por dia, as quais vinte por cento corresponde ao teor de sólidos. Vale ressaltar que, neste caso, também é utilizado o sulfato de alumínio como coagulante.

---

<sup>1</sup> Reservatório plástico resistente, revestido pelas laterais com ferro, usado para armazenamento de produtos químicos.

A experiência foi feita de modo a não interferir no processo de fabricação do bloco cerâmico nos moldes de extrusão, na composição das argilas, no procedimento de queima e do tempo de secagem em estufa. Todo processo foi feito procurando atender às especificações técnicas de blocos cerâmicos previstos na NBR 7171 (ABNT, 1995), no que diz respeito à retração, a absorção de água e à resistência mecânica à compressão.

Os ensaios da incorporação do lodo de ETA na fabricação de bloco cerâmico adotaram uma dosagem volumétrica do resíduo em diferentes proporções: 1:4; 1:5; 1:8 e 1:10.

Todo processo de fabricação tem uma duração de sete dias, seguindo as etapas: laminação, extrusão, corte, estufa 48h a 100°C; queima 30h a 900°C e resfriamento 24h.

Os resultados a que se chegaram foram os seguintes: dosagens 1 lodo ETA : 4 argila e 1:5, trincas na estufa, retração excessiva após queima e trincas após a queima; dosagem 1:10, blocos com reentrâncias nas paredes e dosagem 1:8, blocos com paredes retas.

Em síntese, a dosagem 1:8, usando molde com paredes retas, atendeu aos critérios, sendo esta a dosagem considerada ideal.

Essas experiências servem para mostrar que o lodo de ETA pode ser um importante componente na fabricação de tijolos ou blocos. Evidentemente, trata-se de uma prática que precisa ser aprimorada (SAMPAIO, 2012).

## 2.4 ALVENARIAS

### 2.4.1 Classificação

A maioria das construções modernas são feitas em alvenaria, que consiste em blocos cúbicos feitos de tijolo, pedras naturais, concreto ou mesmo de vidro, empilhados para formar uma parede ou uma coluna, com juntas entre os blocos cheios de argamassas.

Segundo Addis (2010) a maioria das construções em alvenaria é constituída de uma das seguintes variedades de materiais, com uma argamassa adequada:

- muros de pedra feitos de pedra talhada ou não talhada;
- outros elementos importantes de edificações de pedra, incluindo arcos, abóbodas e contrafortes, normalmente encontrados em igrejas e catedrais;
- escadas de pedras;
- obra de alvenaria com tijolos de argila queimada;
- obra de blocos feita com blocos de concreto convencional ou leve;

- paredes duplas exteriores com uma camada de tijolos e uma camada de blocos;
- blocos ou componentes de concreto pré-moldado;
- pedras reconstituídas – blocos ou molduras de concreto feitos com agregado de alta qualidade, muitas vezes polidos para parecer pedra de cantaria;
- divisórias feitas de blocos de vidro.

De acordo com Bertolini (2010), os materiais utilizados na alvenaria, em geral, têm poros interconectados e abertos; em consequência, podem ser atravessados pela água e pelos agentes agressivos. Na concepção de Bertolini (2010):

Tijolos, pedras, argamassa e concretos são caracterizados não apenas por suas composições químicas, também por microestruturas diferentes. Até para uma classe de materiais se pode observar diferenças notáveis e comportamentos profundamente diferentes em relação à unidade e aos seus efeitos em um determinado ambiente.

Tal diferença, descrita por Bertolini (2010) se deve principalmente às características da matéria prima utilizada na construção desses materiais. Levando em consideração a matéria-prima, é importante ressaltar que os tijolos e os blocos das paredes podem ser feitos de barro, pedra ou conglomerado de cimento.

Já os blocos em concreto são, em geral, construídos com agregados monodispersos, de modo a realizar uma porosidade elevada entre os grânulos de agregado (BERTOLINI, 2010).

Para Carvalho (1990) a porosidade dos tijolos de barro varia em função da composição das matérias-primas, da temperatura de cozimento e da finura da argila. De acordo com o autor, a microestrutura dos tijolos é caracterizada pela presença de poros de dimensões variadas.

O teor de sulfato nas matérias-primas deve ser irrelevante, já que estes sais seriam solúveis e poderiam contribuir para os fenômenos de cristalização e eflorescências (CARVALHO, 1990).

A união dos tijolos ou dos blocos que constituem a alvenaria é garantida por uma argamassa. Addis (2010) classifica as argamassas, para a construção de alvenarias, em duas categorias: argamassas tradicionais de cal e argamassas modernas de cimento.

As alvenarias também podem ser classificadas em estrutural e não estrutural. A principal diferença entre esses dois tipos é que a estrutural é feita de materiais mais resistentes.

Em geral, qualquer alvenaria utilizada em um prédio com estrutura de madeira, aço ou concreto armado, não suportará grandes cargas. Até o final do século XIX, muitos prédios foram construídos com paredes externas de alvenaria estrutural e pilares internos de ferro fundido.

Já a alvenaria não estrutural não requer o uso de materiais tão resistentes pelo fato de não ser feita para sustentar pesos elevados, é o que ocorre, por exemplo, com a construção de casas.

De acordo com a forma de colocação dos tijolos, Barros (2013) classifica as alvenarias em:

- ao cutelo: tijolo aplicado ao alto, de modo que a espessura do tijolo corresponda à espessura da parede. É utilizado em paredes divisórias de pequena espessura ou em construções de caráter provisório, reforçadas, no máximo, de 2,0 em 2,0 m, por prumos de madeira ou ferro;
- de meio tijolo (a meia vez) – tijolos assentados segundo a largura e o comprimento, de modo que a largura corresponda a espessura da parede. São utilizadas para vedações, divisões internas e servem como suporte para carga, quando o comprimento da parede for menor do que 4m;
- de um tijolo (a uma vez) – os tijolos são colocados de tal forma que o seu comprimento seja a espessura da parede. São utilizados em paredes externas por serem bastante impermeáveis, possuem maior resistência e, conseqüentemente, maior capacidade para suportar cargas. Contudo apresenta maior rendimento de material e mão-de-obra;
- de um tijolo e meio – os tijolos numa parede de vez e meia, com espessura de 35cm, podem ser dispostos de várias formas, sendo que as fiadas ímpares correspondem a uma fila de tijolos a uma vez e as fiadas pares a meia vez;
- de dois tijolos – neste caso, a espessura da parede é múltipla da largura de tijolo;
- oca – são alvenarias usadas quando se pretende grande isolamento de som e umidade, além de diminuir a variação de temperatura. São formadas por duas paredes, separadas por uma câmara de ar de, aproximadamente, um quarto de tijolo. A amarração entre as paredes é feita por meio de “gatos” metálicos.

A NBR 10837 (ABNT, 2000) classifica a alvenaria estrutural de blocos de concreto em três categorias, que são:

- alvenaria estrutural não armada- construída com blocos vazados de concreto, assentados com argamassa, e que contém armaduras com finalidades construtivas ou de armação;
- alvenaria estrutural armada - construída com blocos vazados de concreto, assentados com argamassa, na qual certas cavidades são preenchidas com graute, contendo armaduras envolvidas o suficiente para absorver os esforços, além daquelas armaduras com finalidades construtivas ou de armação;
- alvenaria estrutural parcialmente armada – somente algumas paredes são construídas segundo as recomendações da alvenaria armada.

#### **2.4.2 Características**

A alvenaria pode ser dividida em dois tipos de acordo com sua função, são elas: a alvenaria de vedação e a alvenaria de estrutura.

A alvenaria da vedação é uma alvenaria que não é dimensionada para resistir às ações além de seu próprio peso. A vedação vertical é responsável pelo fechamento da edificação e também pela compartimentação dos ambientes internos. A maioria das edificações executadas pelo processo construtivo convencional (estrutura reticulada de concreto armado moldada no local) utiliza para o fechamento dos vãos com paredes de alvenaria (CAMACHO, 2006).

Durante o projeto de uma edificação não se trabalha projetando a alvenaria em si, esta é trabalhada in loco, e por não haver o detalhamento necessário no projeto ela é feita de forma improvisada. As paredes são fechadas e somente depois são feitos recortes na vedação para posicionamento de encanamentos ou tubulações hidrossanitárias ou eletrodutos.

O desperdício de materiais neste caso se dá pela quebra de tijolos no transporte e na execução, a utilização de marretas para abrir os rasgos nas paredes e a frequência de retirada de caçambas de entulho da obra evidenciam isso.

A alvenaria estrutural, refere-se a um sistema definido como um processo construtivo em que as paredes são elementos resistentes compostos por blocos, unidos por juntas de argamassa capazes de resistir a outras cargas, além do seu peso próprio (PENTEADO, 2003; CAVALHEIRO, 2006). Ela pode ser protendida (CAMACHO, 2006), armada ou não armada. É também conceituada como um processo construtivo que se caracteriza pelo emprego de

paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras, como estrutura suporte de edifícios e dimensionada a partir de um cálculo racional e de confiabilidade determinável (SABBATINI, 2003; FRANCO, 1992; CAVALHEIRO, 2006).

Utiliza como estrutura as próprias paredes. Portanto difere das estruturas convencionais de concreto armado, pelo fato de não necessitar de vigas e pilares, ou seja, não tem uma estrutura de elementos lineares, posteriormente preenchido por paredes de vedação (SABBATINI, 2003; FRANCO, 1992; CAVALHEIRO, 2006).

Para a execução das paredes, o emprego de blocos com dimensões e resistência adequadas ao projeto é fundamental. Além disso, estas unidades devem ser moduladas, isto é, devem apresentar relações apropriadas entre suas medidas, para possibilitar definida amarração entre elas. A partir destas, chega-se a uma planta com coordenação modular incrementando a racionalização do sistema (YOSHITO, 2005).

O bloco com vazados na vertical confere facilidades nos processos de alvenaria estrutural, os vazados diminuem a massa dos blocos, permitindo peças de maiores dimensões, possibilitando economia de argamassa de assentamento, além de possibilitar a passagem das instalações, assim, à produtividade no levantamento de paredes aumenta consideravelmente (SABBATINI, 2003; FRANCO, 1992; CAVALHEIRO, 2006).

A alvenaria estrutural tem grande capacidade resistente à compressão e assim, em geral, não precisa armadura, que consiste na alvenaria estrutural não armada. Mas forças laterais, como as originadas da ação do vento, ou excentricidades de cargas, podem conduzir à tração nas paredes. Neste caso devem-se colocar barras de aço, devidamente calculadas, nos vazados de determinados blocos, os quais são posteriormente preenchidos com graute, uma espécie de micro-concreto, que compõe a alvenaria estrutural armada (YOSHITO, 2005).

Mas mesmo na alvenaria estrutural não armada é recomendável a colocação de armadura construtiva leve, em pontos estratégicos das paredes, para conferir ductibilidade ao conjunto e evitar assim possíveis patologias ou mesmo danos de ações imprevisíveis (YOSHITO, 2005).

Economia, segurança, qualidade e rapidez de execução, permitem à alvenaria estrutural adequar-se tanto a obras populares como de padrões mais elevados. O desenvolvimento de pesquisas, formação de profissionais habilitados nas universidades e de fabricantes de blocos com modernas tecnologias de produção, são suportes importantes para assegurar a permanência e o desenvolvimento deste importante sistema construtivo no Brasil (SABBATINI, 2003; FRANCO, 1992; CAVALHEIRO, 2006).

### 2.4.3 Função

A grande maioria das construções é feita em alvenaria, como já foi mencionado. De acordo com Yoshito (2005), a principal função de uma alvenaria é estabelecer a separação entre ambientes, e principalmente a alvenaria externa, que tem responsabilidade de separar o ambiente externo do interno e para cumprir esta função deverá atuar sempre como freio, barreira e filtro seletivo, controlando uma série de ações de movimentos complexos, quase sempre muito heterogêneos.

Segundo Barros (2013), é propriedade das alvenarias a resistência à umidade e aos movimentos térmicos; resistência à pressão do vento; isolamento térmico e acústico; resistência às infiltrações de água pluvial; controle de migração de vapor de água e regulação de condensação; base ou substrato para revestimentos em geral; segurança para usuários e ocupantes; adequar e dividir ambientes.

Também de acordo com Barros (2013), a alvenaria também é conhecida pelo tipo de material do qual pode ser executada, sendo eles:

- pedras naturais: pedras em estado natural encaixadas entre si, ou pedras trabalhadas e moldadas que são unidas por argamassa;
- pedras artificiais: tijolo comum ou maciço, normalmente aplicado na construção de paredes; tijolo refratário, aplicado em lareiras ou fornos por ser resistente ao calor sem deformações; tijolo furado, comumente aplicado em alvenarias de vedação interna, como divisor de ambientes; blocos de concreto, usados em sistemas de construção de alvenaria armada; bloco de concreto leve, utilizados em paredes de vedação ou lajes; bloco de solo-cimento, usados em construções de paredes monolíticas.

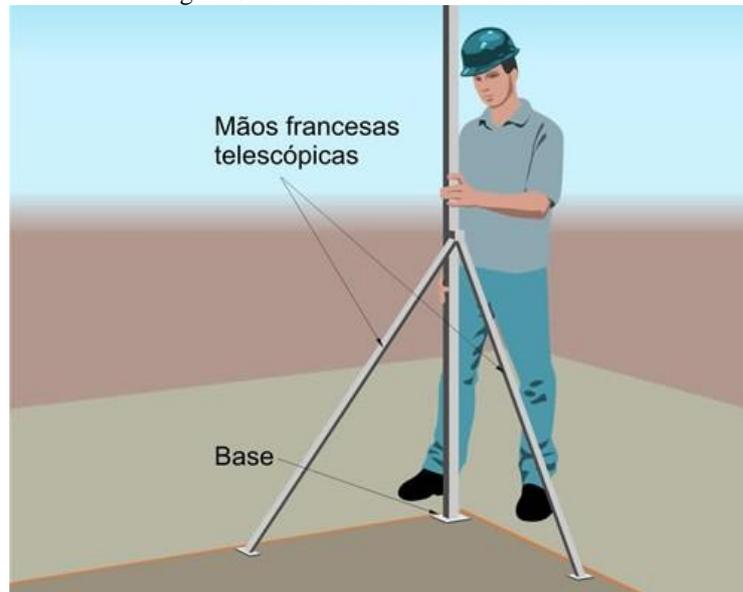
### 2.4.4 Execução

Como já foi dito anteriormente, há vários tipos de alvenaria que, por sua vez, podem ser construídos com diferentes tipos de materiais, dentre os quais os mais comuns são os tijolos e as pedras, que são aglomerados por argamassa ou cimento.

Para a execução de paredes de alvenaria, Yoshito (2005) destaca que se deve seguir os seguintes passos:

- após marcar a alvenaria no piso, posicionar os escantilhões (régua de madeira ou metálica com o comprimento do pé direito (Figura 8), graduada fiada por fiada – espessura do tijolo mais junta);

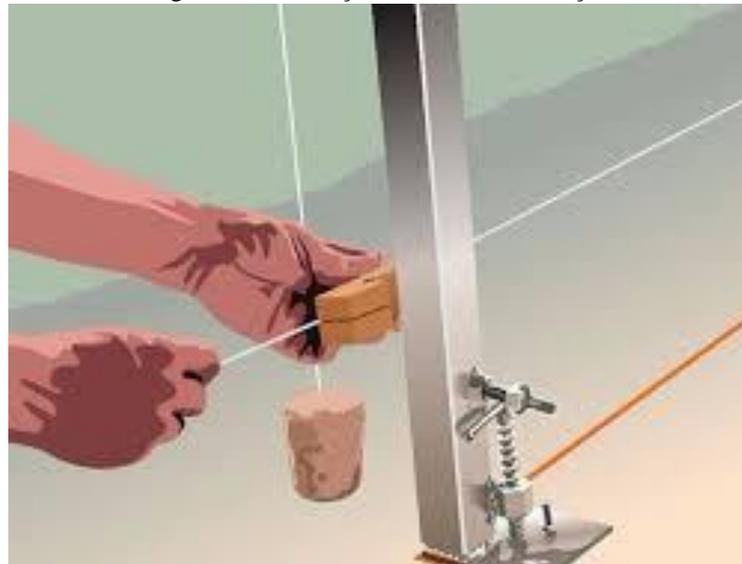
Figura 8 – Posicionamento do escantilhão



Fonte: <<http://solucoesparacidades.com.br/habitacao/1-apoio-a-execucao-habitacao/passo-a-passo-alvenaria-estrutural/>> Acesso em: 12 set. 2015.

- limpar e umedecer a superfície que receberá a fiada de marcação;
- estender a linha de um escantilhão para outro (Figura 9);

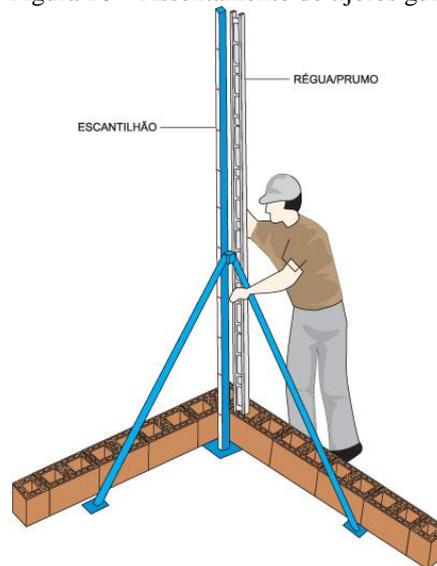
Figura 9 – Colocação da linha de marcação



Fonte: <<http://realkraft.ind.br/escantilhao-com-tripe-para-alvenaria-estrutural>> Acesso em: 12 set. 2015.

- iniciar a parede assentando os tijolos de canto, que servirão de guia (Figura 10);

Figura 10 – Assentamento de tijolos guia



Fonte: <<http://realkraft.ind.br/escantilhao-com-tripe-para-alvenaria-estrutural>> Acesso em: 12 set. 2015.

- assentar os tijolos, de acordo com a primeira fiada do projeto;
- verificar o alinhamento das faces e o nivelamento de cada unidade, à medida que esta vai sendo assentada;
- posicionar novamente o escantilhão e a linha, na parede a ser elevada (Figura 11);

Figura 11 – Elevação de alvenaria com escantilhão



Fonte: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/83/passo-a-passo-alvenaria-com-escantilhao-externo-347597-1.aspx>> Acesso em: 12 set. 2015.

- assentar os tijolos utilizando juntas verticais e horizontais;
- verificar a espessura e o nivelamento das juntas;
- assentar tacos, vergas e contravergas de acordo com o projeto (Figura 12).

Figura 12 – Assentamento de vergas e contravergas



Fonte: < <http://ceramicacity.com.br/blogcity/> Acesso em: 12 set. 2015.

No item (2.3.1), viu-se que a união dos tijolos ou dos blocos que constituem a alvenaria é garantida por uma argamassa, mas, também pode ser realizada por meio de uma massa obtida pela mistura de cimento, areia fina e água. Os mesmos materiais são empregados para a realização do acabamento e do reboco da alvenaria.

De acordo com Ribeiro (2011) argamassa é o nome genérico atribuído a uma mistura de aglomerante, agregado miúdo e água. Para a autora, as principais características das argamassas são a trabalhabilidade, a resistência, a aderência e a durabilidade, tais características variam em função da composição da mistura.

Para Ribeiro (2011) as argamassas de assentamento têm as seguintes funções:

- unir solidamente os componentes da alvenaria;
- absorver as deformações naturais;
- distribuir uniformemente as cargas;
- selar a juntas contra a penetração de água de chuva.

Segundo Fiorito (2003) as argamassas de acabamento são empregadas, como opção estética, no acabamento final. A autora lembra que são encontradas numa grande variedade de tipos, como massa travertina, massa rústica e outras, gerando efeitos diferenciados, tais como paredes texturizadas e com aparência de mármore ou granito.

Para a formação dos rebocos para o exterior, preferem-se as argamassas que oferecem uma defesa eficaz contra agentes atmosféricos. Para isso, empregam-se cimento e/ou cal hidráulica como ligante, pelo menos nas primeiras camadas do reboco.

Nos rebocos internos, os aspectos estéticos, higiênicos e de segurança têm um papel determinante. Para garantir uma boa moldabilidade da argamassa, facilitar a realização de uma superfície plana e evitar o aparecimento de microfissurações pode-se utilizar argamassas à base de gesso ou à base de gesso e cal aérea, que apresentam contrações higrométricas modestas e uma discreta moldabilidade. Com frequência, sobrepõe-se a esta primeira camada, outra à base de gesso (FIORITO, 2003).

Em geral, usam-se ligantes hidráulicos também nas argamassas destinadas aos ambientes internos, dadas a simplicidade da sua aplicação. Além disso, em ambientes internos secos não se manifestam as incompatibilidades entre o gesso e os compostos de cimento.

Para os rebocos, utilizam-se argamassas comuns feitas no canteiro de obras ou, muito mais freqüentes, argamassas especiais pré-misturadas. Os produtos pré-misturados contêm os ligantes, os agregados e os aditivos, em dose pré-estabelecida. São adequados para uso na aplicação automatizada da argamassa de reboco, porque apresentam fórmulas estudadas para este tipo de aplicação.

A aplicação mecânica do reboco à base de argamassas pré-misturadas sobre substratos regulares e prevê, em geral, a colocação de duas camadas, uma de fundo e outra de acabamento. Entre as argamassas pré-misturadas, há também as argamassas especiais com características termoisolantes, acústicas, de resistência ao fogo, impermeabilizantes e macroporosas.

#### **2.4.5 Reuso na Produção de Alvenaria**

O grande número de construções de alvenaria significa que um grande número de prédios estão sendo demolidos o tempo todo. Isto significa também que há uma enorme quantidade de materiais que podem ser reutilizados. A respeito do reuso de produção de alvenarias, Addis (2010, p.200), destaca que:

A possibilidade de reutilização de alvenaria depende muito do caso em que cada tijolo ou pedra possa ser reparado e limpo. As demolidoras atuais estão bem cientes dos itens mais valiosos em construções de alvenaria e esses materiais chegam rapidamente aos depósitos de componentes arquitetônicos recuperados de demolições localizados por toda parte em muitos países. O desafio será sempre encontrar alvenaria do tipo requerido (idade, material, cor, tamanho, quantidade, etc) para combinar com os materiais da construção original.

Vale ressaltar que, entre alguns itens cobiçados, estão lareiras de pedra, pedras decorativas em pilares de portões e escadas de pedra, que são frequentemente furtadas de construções antigas.

Geralmente, alvenaria reaproveitada será vendida do “jeito que está”, sem garantia. Na maioria dos casos, apenas uma inspeção visual, por quem entende de materiais de construção, é suficiente para verificar sua qualidade e adequação, mesmo para fins estruturais.

Para Bertolini (2010) mais crítico para tijolos reaproveitados são sua cor e seu tamanho. A cor varia de acordo com o tipo de argila usada e a temperatura em que os tijolos foram queimados.

De acordo com o autor, enquanto tijolos costumam ter aproximadamente o mesmo tamanho, especialmente em algumas regiões, há variações milimétricas em altura ou comprimento que se tornam muito aparentes quando tijolos novos são assentados ao lado dos antigos, pois a espessura da argamassa precisará variar para que os tijolos fiquem bem alinhados.

Para Addis (2010) a alvenaria tem um custo de transporte muito elevado, e os materiais reaproveitados costumam ser armazenados em locais distantes de onde são retirados. Tal procedimento, de acordo com o autor, beneficia particularmente os tijolos, que normalmente são feitos de argila, proveniente da mesma fonte.

O fato dos tijolos reaproveitados serem feitos com o mesmo tipo de argila dos tijolos, amplia a possibilidade de combinação em cor e textura.

Ainda é importante salientar que paredes divisórias de alvenaria também podem ser construídas com tijolos ou blocos reaproveitados de outro prédio. Para Addis (2010) isso pode ser mais prático do que utilizar alvenaria exposta de paredes externas, uma vez que paredes divisórias geralmente são revestidas ou rebocadas. Daí que se podem utilizar tijolos com alguns danos visíveis, argamassa aderida ou pintura permanente.

Desde os primórdios das construções de alvenaria no Egito, Grécia e Roma Antigos, grandes blocos de pedra têm sido reutilizados diversas vezes sempre que um terremoto, ou guerra, destruía uma construção ou esta simplesmente envelhecia. A força humana necessária e os custos de reutilização de tais pedras eram muito menores do que tirar novas pedras de pedreiras que poderiam estar localizadas a quilômetros de distância do local. (ICE, 2004).

Ainda é importante salientar, como visto no início deste capítulo, o reaproveitamento não pode ser feito apenas de um material construído como o tijolo. É possível reaproveitar

uma matéria-prima, que até então era descartada na natureza, causando impactos ambientais, pode ser reaproveitada na fabricação de materiais de construção. Este é o caso, por exemplo, do lodo produzido pelas ETAs e, muitas vezes, é jogado em rios ou córregos próximos a estação de tratamento, causando impactos, dentre eles o assoreamento destes recursos hídricos e a poluição ambiental, além de outras formas de degradação.

#### **2.4.6 Ensaio de Caracterização**

Os ensaios exigidos para a determinação de propriedades do solo, fundamentais para o fator de produção do tijolo maciço, assim como os padrões de qualidade, são regidos pela NBR 6457 (ABNT, 1986).

A determinação do pH para o lodo da ETA se faz necessário a fim de identificar o nível de acidez da matéria, caracterizando-a como prejudicial ou não ao meio ambiente.

Uma característica relevante que interfere nos padrões de qualidade do tijolo maciço é a grande tendência a fissuração, o que pode ser previsto através do ensaio de teor de umidade, garantindo sua resistência à queima em alta temperatura.

Outro ensaio aplicável é a determinação da massa específica do solo, o que tornará possível definir o traço que antecede a fabricação do tijolo.

Por fim, após todos os procedimentos realizados, as amostras devem ser submetidas ao ensaio de resistência à compressão, servindo de contra prova para todos os outros ensaios, denotando a resistência exata do tijolo, podendo os resultados serem ou não satisfatórios.

### **3 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

O programa experimental do trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Resistência dos Materiais no Centro Universitário de Anápolis - UniEvangélica, situada na Avenida Universitária Km. 3,5 - Cidade Universitária, sob a orientação do professor Esp. Agnaldo Antônio Moreira. O objetivo foi, a partir da coleta do lodo decantado pela ETA de Anápolis, adicionado à composição básica (argila) dos tijolos maciços, realizar ensaios de resistência à compressão, apresentando um parecer quanto a viabilidade do experimento e, ao mesmo tempo, contribuir com o Meio Ambiente e para a construção civil, descobrindo um novo caminho para a reciclagem dessa matéria.

Segundo a NBR7170 (1983), os tijolos e blocos cerâmicos não devem apresentar defeitos sistemáticos como trincas, quebras, superfícies irregulares, deformações e não-uniformidade de cor e devem atender às prescrições da norma quanto à resistência à compressão e dimensões.

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados e suas respectivas caracterizações, o traço da argamassa utilizada, a preparação dos tijolos e dos prismas, os procedimentos de montagem dos prismas, os métodos de ensaios empregados para tijolos maciços, prismas e os equipamentos utilizados nos ensaios de resistência à compressão.

#### **3.2 ENSAIOS PRELIMINARES**

##### **3.2.1 Teor de Umidade do Lodo**

Para determinar o teor de umidade do lodo, foram necessários dois dias, dividindo o ensaio em duas partes. No primeiro dia, pesou-se 20g do material em sua umidade natural (Figura 13), em seguida, às 19:00h foi colocado na estufa (Figura 14) à 110°C por 24h, conforme especificado na NBR 6457 (1986). No segundo dia, exatamente às 19:00h o material foi retirado da estufa e pesado, obtendo como massa final 8,2g (Figura 15). Por fim, foi feita a comparação entre a massa inicial e final, multiplicando a diferença encontrada por 100 e dividindo pela massa inicial (20g), determinando assim que o lodo teve 59% de perda de água por evaporação.

Figura 13 – Pesagem da amostra em sua umidade natural



Fonte: Próprio autor

Figura 14 – Estufa à temperatura de 110°C



Fonte: Próprio autor

Figura 15 – Pesagem da amostra após secagem



Fonte: Próprio autor

### 3.2.2 Caracterização da Massa Específica do Lodo

Para caracterização da massa específica, foi realizado um procedimento básico de relação massa / volume. Através de uma amostra de lodo, foi possível identificar a massa seca do material, pesando-o em uma balança de alta precisão, sendo o resultado obtido de 47,5g (Figura 16). Para determinar o volume da amostra, foi necessário o auxílio de uma proveta com capacidade total de 500 ml, inserindo na mesma uma quantidade qualquer de água destilada, cuja quantidade inserida foi de 410 ml (Figura 17), desta forma, ao inserir a amostra seca de 47,5g na proveta com 410 ml de água, como mostra a Figura 18, foi possível encontrar através da diferença de água medida na proveta (Figura 19), o volume exato da amostra, obtendo assim 40 cm<sup>3</sup>.

Com os valores de massa e volume obtidos, foi feito o cálculo da massa específica através da fórmula:

$$\mu = \frac{m}{V}$$

$\mu$  → massa específica

$m$  → massa

$V$  → volume

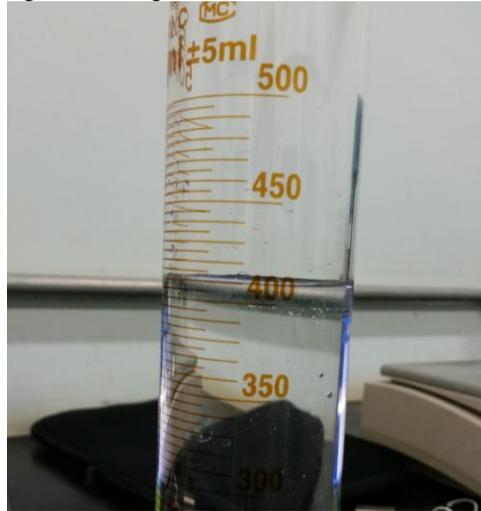
O valor calculado para a massa específica do lodo foi de  $\mu = 1,187 \times 10^3$ .

Figura 16 – Pesagem da massa seca



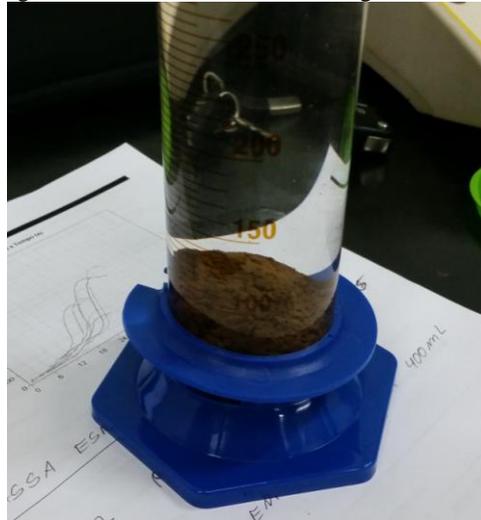
Fonte: Próprio autor

Figura 17 – Água destilada inserida no becker



Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Amostra inserida na água destilada



Fonte: Próprio autor

Figura 19 – Aferição da diferença de água



Fonte: Próprio autor

### 3.2.3 PH (Potencial Hidrogeniônico) do Lodo

Para determinar o pH do Lodo, foi necessário calibrar o pH-metro em buffer 4,0 e 10,0, como mostra a Figura 20, em seguida foi feita a pesagem de 20g do material seco bruto (Figura 21), inserindo-o em um becker com 20 ml de água destilada, realizando assim a mistura entre os dois com um bastão por 30 min (Figura 22), conforme a NBR 6457 (1986). Após os procedimentos citados, o pH da solução foi medido através pelo pH-metro, apresentando um potencial hidrogeniônico de 7,94 (Figura 23).

Figura 20 – Calibração do pH-metro



Fonte: Próprio autor

Figura 21 – Pesagem de 20g do material seco



Fonte: Próprio autor

Figura 22 – Homogeneização



Fonte: Próprio autor

Figura 23 – Medição do pH



Fonte: Próprio autor

### 3.3 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS PARA ROMPIMENTO INDIVIDUAL

#### 3.3.1 Fabricação Tijolos Cerâmicos Maciços

Foram fabricados inicialmente 40 tijolos maciços, como mostra a Figura 24, os quais foram moldados com a adição de lodo da ETA, em diferentes porcentagens (Tabela 1). Para

moldagem das amostras foi feito uma fôrma em madeira com capacidade para duas unidades por vez (Figura 25), sendo produzidos nas seguintes dimensões nominais (19 x 09 x 5.7 cm), a Figura 26 mostra que a aferição das medidas dos tijolos foi realizada com o auxílio de uma trena métrica.

Figura 24 – Tijolos logo após moldagem



Fonte: Próprio autor

Tabela 01 – Quantitativo e composição dos tijolos

Quantidade de Blocos, Argila e Lodo		
Quant. de Blocos	Porc. de Argila	Porc. Lodo
10	100%	0%
10	95%	5%
10	90%	10%
10	80%	20%

Fonte: Próprio autor

Figura 25 – Fôrma de madeira



Fonte: Próprio autor

Figura 26 – Aferição das medidas



Fonte: Próprio autor

Após moldagem, os tijolos foram colocados para secagem natural, em local de sombra e boa ventilação, onde permaneceram por 9 dias até estarem totalmente secos. Em seguida foram levados até a Cerâmica Morada Nova, localizada em Campo Limpo de Goiás (Figura 27), sendo inseridos no forno, como mostra a Figura 28, onde permaneceram por mais 14 dias para queima e resfriamento natural.

Figura 27 – Cerâmica Morada Nova



Fonte: Próprio autor

Figura 28 – Queima dos tijolos



Fonte: Próprio autor

### 3.3.2 Preparo para Rompimento

Para a realização do ensaio de resistência à compressão, conforme a NBR 6460 (1983), os blocos foram cortados ao meio (Figura 29) e previamente capeados com pasta de cimento preparada (Figura 30). No procedimento, após o corte dos tijolos ao meio, as metades foram coladas e as primeiras 40 faces foram capeadas (Figura 31), no preparo da argamassa foram utilizados 6 kg de cimento, 6 kg de areia média e água, após a secagem, a outra face dos blocos também foram capeadas.

Com o intuito de deixar a face do bloco capeado lisa, colocou-se a massa sobre uma chapa metálica plana e sobre a pasta o meio tijolo. Após a secagem, como mostra a Figura 32, foi realizada a conferência de nivelamento dos tijolos no capeamento da face oposta, com o auxílio de um aparelho de nível, e o acabamento feito retirando os excessos de pasta dos arredores do tijolo.

Por último todos os blocos capeados foram imersos em água para cura por 7 dias, conforme NBR 6460 (1983), e retirados minutos antes do ensaio de compressão (Figura 33).

Figura 29 – Corte do tijolo



Fonte: Próprio autor

Figura 30 – Preparo da pasta de cimento



Fonte: Próprio autor

Figura 31 – Capeamento de uma das faces



Fonte: Próprio autor

Figura 32 – Nivelamento das faces



Fonte: Próprio autor

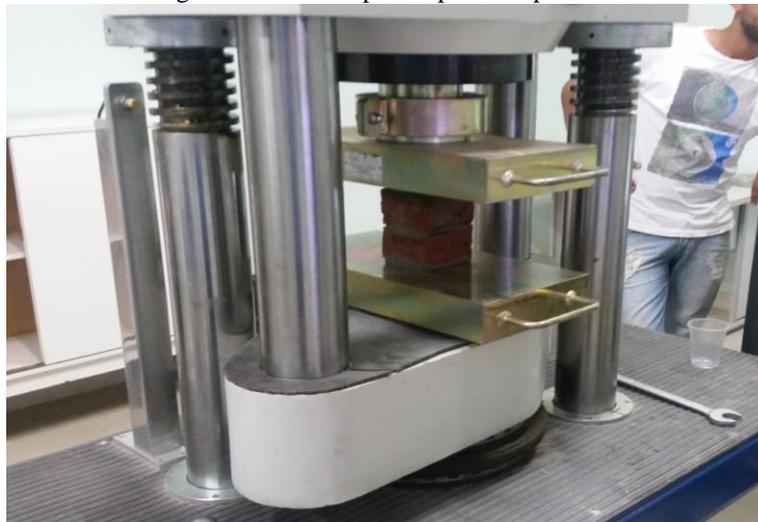
Figura 33 – Imersão dos corpos de prova na água



Fonte: Próprio autor

Para o rompimento dos blocos de tijolos maciços, utilizou-se uma peça de auto nivelamento para a área de contato do bloco capeado com a prensa (Figura 34), minimizando as tensões de tração no plano do topo e da base do bloco.

Figura 34 – Prensa pronta para rompimento



Fonte: Próprio autor

### 3.4 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS PARA ROMPIMENTO DE PRISMAS

#### 3.4.1 Fabricação Tijolos Cerâmicos Maciços

Para a realização do ensaio foram moldados 60 tijolos para montagem de 20 prismas (Figura 35), conforme procedimentos apresentados no item 3.2.1. A partir dos resultados encontrados no ensaio de compressão dos blocos individuais, foi selecionada a porcentagem de Lodo que aparentemente seria a mais viável, utilizando na composição do tijolo 10% da matéria da ETA, uma porcentagem considerável, beneficiando não apenas o meio ambiente, mas também as Cerâmicas fabricantes do tijolo.

Portanto, a partir da escolha feita, como mostra a Tabela 2, a moldagem foi dividida da seguinte forma: 10 prismas com 0% de lodo e 100% de argila natural, 10 prismas com 10% de lodo e 90% de argila natural (Figura 36). Os prismas foram montados todos no mesmo dia e ensaiados sete dias depois.

Tabela 02 – Quantitativo e composição dos tijolos para os prismas

Quantidade de Blocos, Argila e Lodo		
Quant. de Prismas	Porc. de Argila	Porc. Lodo
10	100%	0%
10	90%	10%

Fonte: Próprio autor

Figura 35 – Moldagem dos tijolos



Fonte: Próprio autor

Figura 36 – Pesagem do lodo



Fonte: Próprio autor

### 3.4.2 Preparo para Rompimento

Para a realização do ensaio de resistência à compressão dos prismas, conforme a NBR 6460 (1983), foram assentados com argamassa três tijolos por vez, um sobre o outro (Figura 37) e previamente capeados com pasta de cimento preparada (Figura 38). No procedimento, após a montagem dos prismas, as primeiras 20 faces foram capeadas (Figura 39), no preparo da argamassa foram utilizados 10 kg de cimento, 10 kg de areia média e água, após a secagem, a outra face dos prismas também foram capeadas.

Com o intuito de deixar as faces dos prismas capeados lisa, colocou-se a massa sobre uma chapa metálica plana e sobre a pasta o meio tijolo. Após a secagem, como mostra a

Figura 40, foi realizada a conferência de nivelamento dos tijolos no capeamento da faces opostas, com o auxílio de um aparelho de nível, e o acabamento feito retirando os excessos de pasta dos arredores do tijolo.

Por último todos os prismas capeados foram imersos em água para cura por 7 dias, conforme NBR 6460 (1983), e retirados minutos antes do ensaio de compressão (Figura 41).

Figura 37 – Montagem dos prismas



Fonte: Próprio autor

Figura 38 – Preparo da argamassa



Fonte: Próprio autor

Figura 39 – Capeamento das primeiras faces



Fonte: Próprio autor

Figura 40 – Nivelamento dos prismas



Fonte: Próprio autor

Figura 41 – Imersão dos prismas em água



Fonte: Próprio autor

Para o rompimento dos prismas de tijolos maciços, utilizou-se uma peça de auto nivelamento para a área de contato do bloco capeado com a prensa (Figura 42), minimizando as tensões de tração no plano do topo e da base do bloco.

Figura 42 – Prensa pronta para rompimento



Fonte: Próprio autor

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS INDIVIDUAIS

Para a análise da resistência à compressão dos tijolos cerâmicos maciços, foram seguidas as recomendações da NBR 7170 (1983), norma referente ao tijolo maciço, a fim de se determinar a resistência dos tijolos a partir das diferentes porcentagens de adição de lodo. Os blocos foram colocados sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, entre as chapas metálicas, de maneira a ficar centrado em relação a ele.

Foram ensaiados, individualmente, 40 blocos, os quais, um a um tiveram suas dimensões de cada face de trabalho determinadas pela média dos valores em três posições diferentes: um em cada extremidade e um no meio. A Tabela 3 mostra as medidas de 20 dos 40 blocos com suas respectivas dimensões e a área líquida média para a obtenção da tensão de ruptura.

Tabela 3 – Características dimensionais dos blocos individuais capeados

Bloco (n°)	Dimensões (mm)			Área líquida média (mm <sup>2</sup> )
	Larg.	Comp.	Alt.	
1	91	95	121	8578,05
2	90	95	121	
3	90	96	120	
4	90	96	120	
5	90	94	120	
6	90	95	121	
7	90	94	119	
8	91	94	122	
9	92	94	122	
10	89	95	119	
11	89	94	120	
12	88	96	120	
13	92	95	122	
14	90	95	120	
15	91	95	121	
16	91	95	122	
17	91	95	119	
18	90	96	119	
19	92	96	120	
20	88	96	122	

Fonte: Próprio autor

As cargas de ruptura foram aplicadas por uma máquina de compressão com registrador gráfico da marca Pavitest devidamente calibrada com uma carga máxima de 100 toneladas.

A Tabela 4 mostra as resistências à compressão, atingidas pelos blocos no ensaio realizado, em Mpa, de acordo com as diferentes porcentagens de lodo aplicadas. Essa resistência é obtida dividindo-se a carga máxima, em Newton (N), pela área líquida, em mm<sup>2</sup>.

A Tabela 5 mostra os valores da resistência média ( $f_{bm}$ ) exigida por norma, que é dada pela média das tensões de ruptura, o desvio padrão ( $Sd$ ), que mede a variabilidade dos valores à volta da média, e ainda a resistência característica ( $f_{bk}$ ) que será considerado para classificar o bloco, que é dada pela diferença entre a resistência média e o desvio padrão.

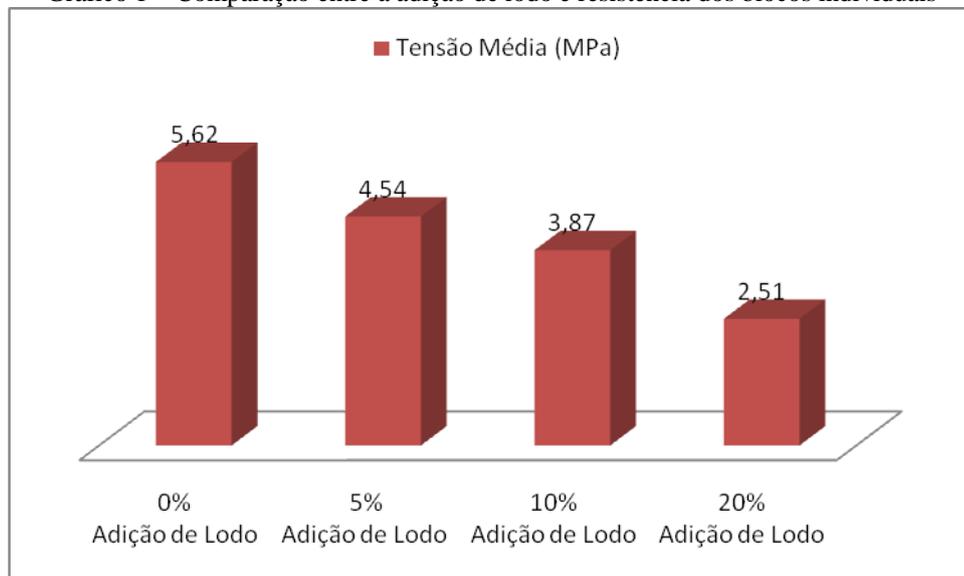
Tabela 4 – Resistência à compressão bloco individual

Bloco (n°)	% Adição de Lodo	Área Líquida (mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (t)	Tensão (MPa)	Tensão Média (MPa)
1	0	8578,05	5,08	5,81	5,62
2	0	8578,05	4,81	5,50	
3	0	8578,05	5,52	6,31	
4	0	8578,05	5,02	5,74	
5	0	8578,05	4,76	5,44	
6	0	8578,05	5,14	5,88	
7	0	8578,05	4,05	4,63	
8	0	8578,05	4,83	5,52	
9	0	8578,05	5,01	5,73	
10	0	8578,05	4,98	5,69	
11	5	8578,05	3,63	4,15	4,54
12	5	8578,05	4,39	5,02	
13	5	8578,05	3,72	4,25	
14	5	8578,05	3,87	4,42	
15	5	8578,05	4,40	5,03	
16	5	8578,05	3,66	4,18	
17	5	8578,05	3,92	4,48	
18	5	8578,05	3,77	4,31	
19	5	8578,05	4,06	4,64	
20	5	8578,05	4,31	4,93	
21	10	8578,05	3,51	4,01	3,87
22	10	8578,05	3,25	3,72	
23	10	8578,05	2,99	3,42	
24	10	8578,05	3,51	4,01	
25	10	8578,05	3,58	4,09	
26	10	8578,05	3,42	3,91	
27	10	8578,05	3,04	3,48	
28	10	8578,05	3,99	4,56	
29	10	8578,05	3,54	4,05	
30	10	8578,05	2,98	3,41	

31	20	8578,05	2,29	2,62	
32	20	8578,05	1,78	2,04	
33	20	8578,05	2,70	3,09	
34	20	8578,05	1,89	2,16	
35	20	8578,05	1,97	2,25	
36	20	8578,05	1,99	2,28	2,51
37	20	8578,05	2,63	3,01	
38	20	8578,05	2,48	2,84	
39	20	8578,05	2,39	2,73	
40	20	8578,05	1,82	2,08	

Fonte: Próprio autor

Gráfico 1 – Comparação entre a adição de lodo e resistência dos blocos individuais



Fonte: Próprio autor

Mediante análise individual dos elementos apresentados no gráfico acima, foi possível concluir que a adição de 0% de lodo seria utilizada com o intuito de comparar os resultados posteriores. A adição de 5% seria inacessível ao estudo devido a pouca relevância de sua porcentagem em relação ao montante final, sendo o aproveitamento do material retirado da ETA insuficiente. A adição de 20% do componente não seria viável pois observou-se que os tijolos apresentaram fissuração e porosidade, o que impossibilita o bom desempenho da pesquisa. Contudo, definiu-se a adição de 10% do lodo como a mais apropriada para a continuidade deste.

Tabela 5 – Obtenção da resistência característica ( $f_{bk}$ ) dos blocos individuais

% Adição Lodo	Resistência Média ( $f_{bm}$ )	Desvio Padrão ( $Sd$ )	Resistência Característica ( $f_{bk}$ )
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
0	5,62	0,41	5,21
5	4,54	0,33	4,21
10	3,87	0,35	3,52
20	2,51	0,37	2,14

Fonte: Próprio autor

No decorrer do ensaio as formas de ruptura dos blocos foram observadas. De forma geral, o tipo de ruptura encontrada foi por fissura vertical. A Figura 43 mostra esse tipo de fissura.

Figura 43 – Ruptura do Bloco – fissura vertical



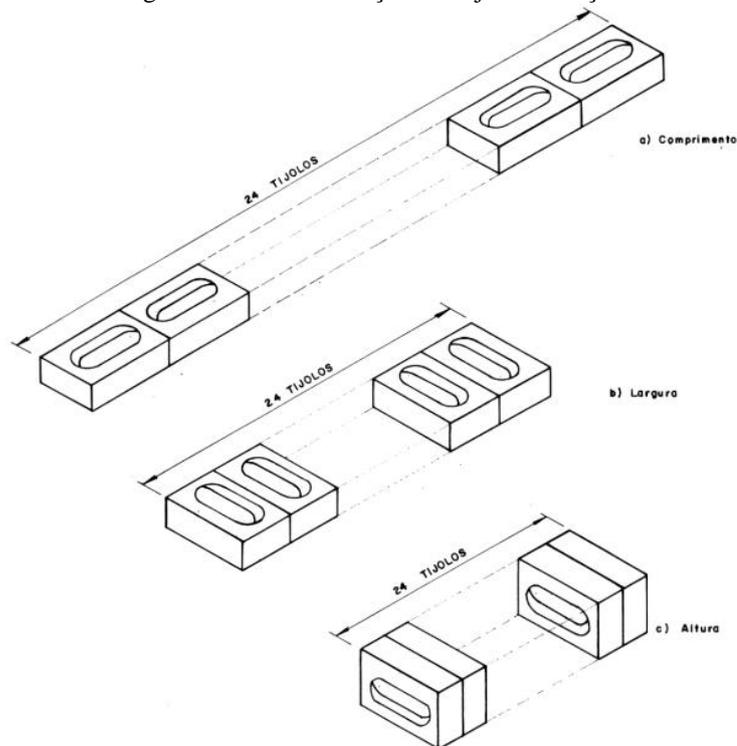
Fonte: Próprio autor

#### 4.1.1 Determinação das Dimensões

Segundo a NBR 7170 (1983), devem-se medir 24 tijolos, colocados lado a lado conforme os arranjos da Figura 44, através de uma trena metálica, com uma aproximação de 2 mm. Se, por alguma razão, for impraticável medir os 24 tijolos dispostos em uma fila, a amostra pode ser dividida em duas filas de doze ou três filas de oito que devem ser medidos separadamente. Devem-se, posteriormente, somar os valores obtidos em qualquer dos casos e dividir este resultado por 24 para se obter a dimensão real dos tijolos. As tolerâncias máximas de fabricação para os tijolos comuns devem ser de 3 mm para mais ou para menos, nas três

dimensões. Na Tabela 6 mostra as dimensões de 20 tijolos antes do capeamento, evidenciando as média das medidas conforme exigência da NBR 7170 (1983).

Figura 44 – Caracterização dos tijolos maciços



Fonte: NBR 7170 (ABNT, 1983)

Tabela 6 – Características dimensionais dos tijolos

Tijolo (n°)	Dimensões (mm)		
	Larg.	Comp.	Alt.
1	91	190	57
2	90	190	58
3	90	192	57
4	90	192	57
5	90	188	57
6	90	190	57
7	90	188	57
8	91	188	57
9	92	188	57
10	89	190	57
11	89	188	56
12	88	192	57
13	92	190	57
14	90	190	57
15	91	190	56
16	91	190	58
17	91	190	57

18	90	192	57
19	92	192	58
20	88	192	57
<b>Média</b>	<b>90</b>	<b>190</b>	<b>57</b>

Fonte: Próprio autor

#### 4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS PRISMAS

Para a análise da resistência à compressão dos tijolos cerâmicos maciços em forma de prismas, foram seguidas as recomendações da NBR 7170 (1983), adotando os mesmos procedimentos apresentados no item 4.1.

Foram ensaiados 20 prismas, os quais, um a um tiveram suas dimensões de cada face de trabalho determinadas pela média dos valores em três posições diferentes: um em cada extremidade e um no meio. A Tabela 7 mostra as medidas de 20 prismas com suas respectivas dimensões e a área líquida média para a obtenção da tensão de ruptura.

Tabela 7 – Características dimensionais dos prismas capeados

Prisma (nº)	Dimensões (mm)			Área líquida média (mm <sup>2</sup> )
	Larg.	Comp.	Alt.	
1	93	195	180	17920,50
2	95	195	180	
3	93	195	175	
4	92	195	178	
5	93	195	180	
6	92	195	180	
7	93	195	180	
8	94	195	184	
9	92	195	180	
10	90	195	179	
11	89	195	179	
12	90	195	183	
13	92	195	178	
14	94	195	180	
15	91	195	180	
16	93	195	180	
17	90	195	179	
18	90	195	180	
19	93	195	180	
20	89	195	178	

Fonte: Próprio autor

As cargas de ruptura foram aplicadas por uma máquina de compressão com registrador gráfico da marca Pavitest devidamente calibrada com uma carga máxima de 100 toneladas.

A Tabela 8 mostra os valores, em Mpa, da resistência à compressão, atingidas pelos blocos no ensaio realizado, de acordo com as duas porcentagens de lodo aplicadas. Essa resistência é obtida dividindo-se a carga máxima, em Newton (N), pela área líquida, em mm<sup>2</sup>.

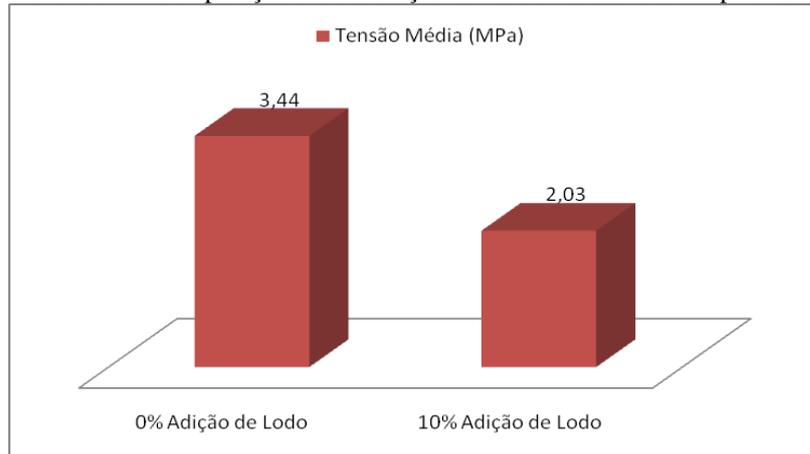
Os valores da resistência média ( $f_{bm}$ ), o desvio padrão ( $Sd$ ), e a resistência característica ( $f_{bk}$ ), apresentados na Tabela 9, foram calculados conforme a memória de cálculo apresentada no item 4.1.

Tabela 8 – Resistência à compressão dos prismas

Bloco (n°)	% Adição de Lodo	Área Líquida (mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (t)	Tensão (MPa)	Tensão Média (MPa)
1	0	17920,5	6,06	3,32	3,44
2	0	17920,5	5,90	3,23	
3	0	17920,5	6,57	3,60	
4	0	17920,5	7,67	4,20	
5	0	17920,5	6,54	3,58	
6	0	17920,5	6,82	3,73	
7	0	17920,5	5,71	3,12	
8	0	17920,5	4,70	2,57	
9	0	17920,5	5,98	3,27	
10	0	17920,5	6,90	3,78	
11	10	17920,5	3,83	2,10	2,03
12	10	17920,5	3,69	2,02	
13	10	17920,5	3,78	2,07	
14	10	17920,5	3,60	1,97	
15	10	17920,5	3,53	1,93	
16	10	17920,5	3,53	2,38	
17	10	17920,5	2,80	1,53	
18	10	17920,5	3,50	1,92	
19	10	17920,5	4,00	2,19	
20	10	17920,5	3,99	2,18	

Fonte: Próprio autor

Gráfico 2 – Comparação entre a adição de lodo e resistência dos prismas



Fonte: Próprio autor

Tabela 9 – Obtenção da resistência característica ( $f_{bk}$ ) dos prismas

% Adição Lodo	Resistência Média	Desvio Padrão	Resistência
	( $f_{bm}$ )	( $Sd$ )	Característica ( $f_{bk}$ )
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
0	3,44	0,42	3,02
10	2,03	0,21	1,82

Fonte: Próprio autor

No decorrer do ensaio as formas de ruptura dos blocos foram observadas. De forma geral, o tipo de ruptura encontrada foi fissura vertical. A Figura 45 mostra esse tipo de fissura.

Figura 45 – Ruptura do Prisma – fissura vertical



Fonte: Próprio autor

### 4.2.1 Determinação das Dimensões

Para determinação das dimensões, foram seguidos os procedimentos citados no item 4.1.1, conforme a NBR 7170 (1983). Na Tabela 10 mostra as dimensões de 20 dos 60 tijolos antes do capeamento, evidenciando as médias das medidas conforme exigência da norma.

Tabela 10 – Características dimensionais dos tijolos

Tijolo (nº)	Dimensões (mm)		
	Larg.	Comp.	Alt.
1	93	195	56
2	95	195	57
3	93	195	56
4	92	195	55
5	93	195	58
6	92	195	57
7	93	195	57
8	94	195	58
9	92	195	57
10	90	195	57
11	89	195	54
12	90	195	57
13	92	195	57
14	94	195	56
15	91	195	56
16	93	195	58
17	90	195	57
18	90	195	58
19	93	195	56
20	89	195	58
<b>Média dos Tijolos</b>	<b>91,9</b>	<b>195</b>	<b>56,75</b>

Fonte: Próprio autor

### 4.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

De acordo com a NBR 7170 (1983), a resistência à compressão mínima dos tijolos deve ser verificada conforme a NBR 6460 (1983) e atender aos valores indicados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resistência máxima por categoria

Categoria	Resistência à Compressão (MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

Fonte: Próprio autor

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando a resistência à compressão dos blocos rompidos individualmente, pode-se observar que em todas as porcentagens de Lodo adicionadas a composição dos tijolos, as resistências obtidas se encontram dentro dos padrões exigidos pela NBR 6460 (ABNT, 1983), variando apenas a categoria que se enquadram e, algumas características importantes, referentes aos padrões de qualidade, devem ser consideradas. A partir desses valores encontrados e dos ensaios de determinação do pH, teor de umidade e massa específica do Lodo, pode-se observar que, a adição de 20% do agregado à composição do tijolo não é viável, devido ao elevado grau de fissuração, o que pode ser justificado pelo alto teor de umidade do lodo, 59% de perda de água por evaporação. Por outro lado, a adição de 5% foi desconsiderada devido a porcentagem ser irrelevante à quantidade total do material necessário para fabricação, o que provavelmente não atenderia a quantidade de Lodo gerado pela ETA, desta forma o problema não seria resolvido.

Levando em consideração as informações citadas acima, a adição de 10% foi determinada como a melhor opção para realização de novos ensaios, devido a quantidade adicionada ser considerável e não apresentar características físicas que contrariam as exigências da NBR7170 (ABNT, 1983), para realização desses ensaios foram fabricados prismas, que devido à falta de normalização, foi realizada com base na norma NBR 8215 (ABNT, 1983). Posteriormente o ensaio foi realizado, e os resultados obtidos foram analisados a partir da adição de 0% e 10% do Lodo, apresentando uma resistência característica de 1,82 MPa para 10% de adição do componente, sendo classificada como categoria A (com ou sem função estrutural), estabelecida pela NBR 6460 (ABNT, 1983).

Para uma melhor comparação entre a porcentagem de adição de lodo e a matéria prima do tijolo, foi feito um estudo baseado na capacidade do tratamento de água da ETA de Anápolis por uma hora, podendo ser acumulado aproximadamente 22 toneladas de lodo a partir do tratamento de 2,2 milhões de litros de água, dependendo do período do ano em que a mesma é bombeada do rio Piancó. O volume de lodo citado, para o traço de 10% da matéria e 90% de argila, é capaz de suprir a fabricação de aproximadamente 85.000 tijolos, sendo possível a construção de 6 casas populares com 60 m<sup>2</sup>.

Quanto a viabilidade técnica, o tijolo cerâmico maciço sempre obteve grande aceitabilidade no mercado, principalmente para utilização em vigas baldrame em obras de pequeno porte, o que facilita e acelera o processo construtivo. Outros exemplos importantes

de sua utilização na construção civil, são a execução de pilares decorativos, pilares e paredes estruturais e até mesmo serviços menores, porém significativos como, caixas de inspeção, muretas, floreiras, vergas e contravergas (quando assentados a partir de um traço de argamassa com maior resistência), sendo hoje um componente indispensável na construção civil, tanto para estruturação como para vedação de residências.

Portanto, este estudo apresentou uma maneira de amenizar a degradação do meio ambiente, que atinge diretamente o Brasil e o mundo. Certamente esta ação, em termos de grandeza, não seria tão significativa perante a situação atual, porém poderia ser o início de um mundo novo. Por outro lado, a adesão do Lodo à matéria prima dos tijolos, uma vez que a extração da argila se mostra cada vez mais escassa, se tornaria habitual e inesgotável, diante do crescimento populacional exorbitante, que exigirá das ETA's mais água tratada.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: **Tijolo maciço de solo-cimento**. 1984, 04 p.

\_\_\_\_\_. NBR 7171: **Bloco cerâmico para alvenaria**. Rio de Janeiro, 1995, 08 p.

\_\_\_\_\_. NBR 6460: **Tijolo maciço cerâmico para alvenaria verificação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1983, 03 p.

\_\_\_\_\_. NBR 8041: **Tijolo maciço cerâmico para alvenaria forma e dimensões**. Rio de Janeiro, 1983, 02 p.

\_\_\_\_\_. NBR 5733: **Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991. 05 p.

\_\_\_\_\_. NBR 8215: **Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão**. Rio de Janeiro, 1983, 02 p.

\_\_\_\_\_. NBR 7170: **Tijolo maciço cerâmico para alvenaria**. Rio de Janeiro, 1983, 04 p.

\_\_\_\_\_. NBR 8491: **Tijolo maciço de solo-cimento**. Rio de Janeiro, 1984, 04 p.

\_\_\_\_\_. NBR 8492: **Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água**. Rio de Janeiro, 1984, 5 p.

\_\_\_\_\_. NBR 10837: **Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto**. Rio de Janeiro, 2000, 21 p.

\_\_\_\_\_. NBR 6457: **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986, 9 p.

\_\_\_\_\_. NBR 5739: **Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007, 08 p.

ABES: **27º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**. Rio de Janeiro, 2013.

ADDIS, B. **Reuso de materiais e elementos de construção**. São Paulo, 2010

ARQBACANA, **Deu no Estadão: Construções Sustentáveis - Brasil ocupa 4º lugar no ranking mundial de construções sustentáveis**. Disponível em: <<http://www.arqbacana.com.br/internal/news/read/1150/deu-no-estad%C3%A3o-constru%C3%A7%C3%B5es-sustent%C3%A1veis---brasil-ocupa-4%C2%BA-lugar-no-ranking-mundial-de-constru%C3%A7%C3%B5es-sustent%C3%A1veis>>. Acesso em 19 de outubro de 2015. Fonte: Arqbacana.com

BARROS, C. **Edificações Técnicas Construtivas**. Instituto Federal Sul – Rio – Grandense, 2013.

BERTOLINI, L. **Materiais de Construção: patologia/ reabilitação/prevenção**. São Paulo, 2010.

CAESB, **Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal**. Brasília, 2015.

CAMACHO, J. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Ilha Solteira, 2006, 48 p.

CARVALHO, J. A. **Classificação e Descrição Geral de Revestimentos Para Paredes de Alvenaria Ou de Betão**. São Paulo, 1990, 178 p.

CAVALHEIRO, O. P. **Alvenaria Estrutural**. Santa Maria, 2006, 8 p.

CONGRESSO Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 23, 2010, Curitiba. **Estudo de dosagem para incorporação do lodo de ETA em matriz de concreto, como forma de disposição final**. Curitiba: 2010, 9 p.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos**. São Paulo, 2003, 224 p.

FRANCO, L. S. **Aplicação de Diretrizes de Racionalização Construtiva para a Evolução Tecnológica dos Processos Construtivos em Alvenaria Estrutural não Armada**. São Paulo, 1992, 319 p.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, vol.02. IBRACON, 2010.

JESUS, A. S. **Geomorfologia da alta bacia do rio das antas, anápolis (go) e a ocorrência de processos erosivos**. Goiânia: 2006, 11 p.

MACHADO, A. O. e ARAUJO, J. A. **Avaliação de tijolos ecológicos compostos por lodo de ETA e resíduos da construção civil**.2014

MORITA, D. M., Sampaio, A. de O., Miki, M. K., David, A. C. (2002) **Incorporação de lodos de estações de Tratamento de Água em blocos cerâmicos**. In: 10º. Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Braga, Pt. Lisboa.

PENTEADO, A. F. **Gestão da Produção do Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural**. Campinas, 2003, 212 p.

PIVOTTO, D. **Como funciona uma estação de tratamento de água?**, Revista Mundo Estranho . Planeta Sustentável, 2007. Disponível em: <[http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/conteudo\\_241249.shtml](http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/conteudo_241249.shtml)>. Acesso em: 25 set. 2015.

PROTOCOLO de Demolição da Instituição Britânica de Engenheiros Civis – ICE 2004. RESOLUÇÃO CONAMA 307: 2002.

RIBEIRO, C. C. PINTO, J. D.S. STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. Editora ufmg. Belo Horizonte, 2011.

RODRIGUES, L. P. **Incorporação de resíduo de estação de tratamento de água de campos dos goytacazes em corpos cimentícios para uso em tijolo solo-cimento.** 2012. 108 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

SABBATINI, F. H. **Alvenaria Estrutural.** Brasília, 2003, 37 p.

SAMPAIO, A. O. **Projetos de lodos de estações de tratamento de água e esgoto.** São Paulo, 2012.

SILVA, J. K. **Utilização de lodo de eta na produção de blocos cerâmicos - escala industrial.** Recife, 2013, 6 p.

SILVA, M. R. (2009) **Incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETAs) em tijolos de solo-cimento como forma de minimização de impactos ambientais.** Dissertação - Aracruz, ES, Faculdade de Aracruz.

TEIXEIRA, E. N. **Resíduo da construção civil.** São Paulo, 2009, 75 p.

VASCONCELOS, F. **Estação de Tratamento de Água (ETA) - Etapas.** Esquadrão do conhecimento, 2015. Disponível em: <<https://esquadraodoconhecimento.wordpress.com/ciencias-da-natureza/quim/estacao-de-tratamento-de-agua-eta-etapas/>> Acesso em: 25 set. 2015.

YOSHITO, É. **Sistemas Construtivos em Alvenaria Estrutural de blocos de Concreto.** 2005.