



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA DE RECURSOS NATURAIS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ROSA DO CARMO DE OLIVEIRA LIMA**

**ESTUDO DA DURABILIDADE DE PAREDES MONOLÍTICAS E  
TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO INCORPORADOS COM RESÍDUO  
DE GRANITO**

**CAMPINA GRANDE – PB**  
**2010**

ROSA DO CARMO DE OLIVEIRA LIMA

**ESTUDO DA DURABILIDADE DE PAREDES MONOLÍTICAS E  
TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO INCORPORADOS COM RESÍDUO  
DE GRANITO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

Área de Concentração: **Engenharia Geotécnica**

Orientadores: **Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves**  
**Prof. Dr. João Batista Queiroz de Carvalho**

Campina Grande – PB  
2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L732e

2010 Lima, Rosa do Carmo de Oliveira.

Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito / Rosa do Carmo de Oliveira Lima. 2. Campina Grande, 2010.

107f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves e Prof. Dr. João Batista Queiroz de Carvalho.

Referências.

1. Resíduos de Granito. 2. Durabilidade. 3. Solo-Cimento. I. Título.

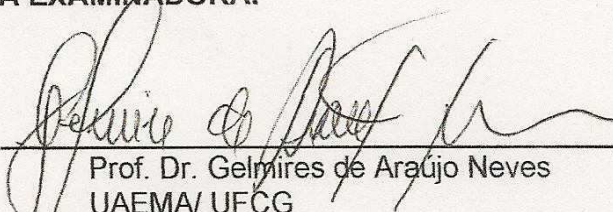
CDU 628.4.038(043)


ROSA DO CARMO DE OLIVEIRA LIMA

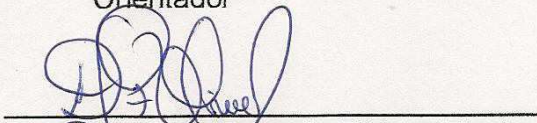
**Estudo da Durabilidade de Paredes Monolíticas e Tijolos de Solo-Cimento  
Incorporados com Resíduo de Granito.**

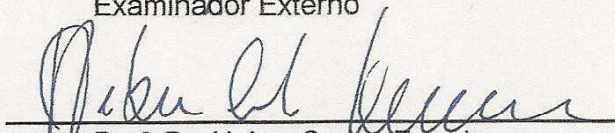
Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil e  
Ambiental da Universidade Federal de  
Campina Grande, em cumprimento às  
exigências para obtenção do grau de  
MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL.

**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves  
UAEMA/ UFCG  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Batista Queiroz de Carvalho  
UAEC/ UFCG  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Djane de Fátima Oliveira  
DQ/ UEPB  
Examinador Externo

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira  
UAEMA/ UECG  
Examinador Interno

*A meu esposo Franklin Riccelli Lima Coelho  
por todo amor, apoio, incentivo e compreensão que tornaram esta  
conquista possível Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Porque, como bem disse o poeta inglês John Donne, “*Nenhum homem é uma ilha*”, a concretização deste trabalho dependeu diretamente da participação de algumas pessoas às quais ofereço minha sincera gratidão:

A Deus muito mais que gratidão, minha eterna adoração, pela vida, pela salvação, e por todas as suas bênçãos que mesmo eu não merecendo, nunca me deixou faltar.

Aos meus pais, Mário Lúcio Rodrigues de Lima e Jandira Tavares de Oliveira Lima, por tudo o que representam em minha vida.

Ao meu esposo, Franklin Riccelli Lima Coelho por fazer parte diretamente de cada etapa deste desafio, me incentivando, apoiando e ajudando em tudo, sempre com muito amor e paciência.

A minha sobrinha Dâmaris Helena, por encher meus dias de alegria e carinho.

Aos meus orientadores Prof. Gelmires de Araújo Neves e Prof. João Batista Queiroz de Carvalho por aceitarem participar comigo desta conquista, me guiando pelos caminhos da pesquisa e do conhecimento.

Aos companheiros de pesquisa, Kaline, Joseane, Marina e Erivaldo pela agradável companhia e pelo auxílio inestimável em cada ensaio, amigos sempre prontos a pegar no pesado (literalmente).

Aos técnicos Fernandes e André, do Laboratório de Engenharia de Materiais (UAEMa), Joselito, Erivaldo e Baiano, do Laboratório de Resíduos - ResidLab (UAEMa), Edvaldo, do Laboratório de Solos II (UAEC) e Ismael, do Laboratório de Hidráulica I (UAEC) por toda cooperação.

Aos pesquisadores Romualdo e Lizandra pela presteza com que me auxiliaram na realização de alguns ensaios.

A GranFugi Minérios Ltda., na pessoa do diretor comercial Antônio Augusto Pereira de Sousa, por viabilizar a obtenção de materiais necessários ao desenvolvimento desta pesquisa.

A CAPES, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

A coordenação do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, em especial aos coordenadores John Kenneth e Varjayam Srinivasan pelo apoio constante e a Josete pela eficiência com que sempre atendeu os alunos e buscou resolver nossas demandas.

Aos professores da UAEC, Carlos de Oliveira Galvão, Rosires Curi Catão e José Afonso de Macedo (*in memória*) pelo incentivo e preciosos conselhos que me motivaram a empreender e permanecer neste mestrado.

Ao meu amigo Paulo Eloy (Paulinho) por todo incentivo, mas principalmente por sua amizade que me é caríssima.

A Igreja Presbiteriana do Monte Santo pelas preciosas orações que me sustentaram ao longo deste trabalho.

A toda minha família, minhas irmãs, e amigos que sempre torceram por mim.

## RESUMO

É fator de preocupação a grande quantidade de resíduo gerado durante o processo de beneficiamento das rochas graníticas ornamentais, por esta razão a reciclagem deste material se faz necessária, concomitantemente a construção civil se destaca ao mesmo tempo como um importante setor da economia nacional e como grande desafio ao desenvolvimento sustentável, por isso a busca por materiais de construção alternativos vem crescendo nas últimas décadas. O aproveitamento de resíduos produzidos pela indústria de beneficiamento de granito na utilização em solo-cimento tem se mostrado satisfatório. Entretanto para que possa ocorrer o largo uso desse material é necessário conhecer seu comportamento ao longo do tempo. É fundamental o conhecimento das condições de uso e da durabilidade de novos materiais, sobretudo tratando-se do aproveitamento de resíduos, para que haja confiabilidade nas suas aplicações tecnológicas. O objetivo principal da presente pesquisa é estudar a durabilidade de paredes monolíticas e tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito. A caracterização físico-mineralógica dos materiais utilizados foi feita através dos ensaios de granulometria por difração a laser, determinação dos Limites de Atterberg, análise química, análise termodiferencial, análise termogravimétrica e difração de raios X. Os traços utilizados na pesquisa foram 1:10 para paredes monolíticas e 1:9, 1:10 e 1:12 para tijolos de solo-cimento utilizando porcentagens de substituição, em peso, do solo por resíduo de granito em proporções que variaram de 30, 40 e 50%. As propriedades físico-mecânicas necessárias foram absorção de água e resistência a compressão simples. Para avaliar a durabilidade dos materiais estudados foi empregada a metodologia de envelhecimento acelerado através dos ciclos de molhagem e secagem. Os resultados evidenciaram que o aumento do teor de resíduo incorporado ao solo-cimento diminui a resistência à compressão simples, aumenta a perda de massa e a variação de volume. Também ficou evidenciado que o aumento da incorporação de resíduo de granito nos tijolos solo-cimento afetou sua durabilidade.

Palavras – chave: resíduo de granito, durabilidade, solo-cimento



## ABSTRACT

It is a source of concern the large amount of waste generated during the processing of ornamental granite rocks which indicates the need for recycling this material. Also, the civil engineering constructions shows to be an important sector of national economy along with the challenge for sustainable development. Therefore, the search for alternative building materials has increased in recent decades. The use of waste produced by industry of granite in the manufacture of soil-cement material has proved satisfactory. However, the wide use of this material is necessary in order to know their behavior over time. It is important to know the conditions of use and durability of a new material particularly that of the residue, so there is reliability in their technological applications. The main objective of this research is to study the durability of monolithic walls and ecological soil-cement bricks with incorporated granite waste. The physical and mineralogical characterizations were done using particle size distribution by laser diffraction, determination of Atterberg limits, chemical analysis, thermogravimetric analysis, thermal analysis and X-ray diffraction. The mixes used in the study were 1:10 for monolithic walls and 1:9, 1:10 and 1:12 using substitution proportions by weight of the soil by granite waste in proportions ranging from 30, 40 and 50%. The physical-mechanical properties were water absorption and unconfined compressive strength. To evaluate the durability of the materials studied it was the methodology of accelerated ageing through cycles of wetting and drying. The results showed that the increase of the residue into the soil-cement mixture decreases the unconfined compressive strength, increases the loss of mass and volume change. It was also shown that the increased incorporation of granite waste in the soil-cement bricks affect its durability

Keywords: granite waste, durability, soil-cement.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	17
2.1 ROCHA DE GRANITO ORNAMENTAL.....	17
2.1.1 Beneficiamento das rochas de granito ornamentais.....	19
2.1.2 Impactos ambientais .....	22
2.2 SOLO-CIMENTO.....	24
2.2.1 Uso e aplicação do solo-cimento.....	26
2.2.2 Composição do solo-cimento.....	27
2.2.2.1 Solo.....	28
2.2.2.2 Cimento.....	29
2.2.3 Fabricação de solo-cimento .....	31
2.2.4 Parede monolítica de solo-cimento.....	32
2.2.5 Tijolos de solo-cimento.....	34
2.3 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	36
2.3.1 Incorporação de resíduos ao solo-cimento.....	37
2.3.2 Utilização de resíduo de serragem de granito em solo-cimento.....	39
2.4 DURABILIDADE.....	41
2.4.1 Ensaios de Durabilidade.....	44
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	47
3.1 MATERIAIS.....	47
3.1.1 Resíduo de granito.....	47
3.1.2 Solo.....	47
3.1.3 Cimento Portland.....	48
3.1.4 Água.....	49
3.2 MÉTODOS.....	50
3.2.1 Caracterização dos materiais.....	51
3.2.1.1 Estudo da distribuição de tamanho de partículas.....	51
3.2.1.2 Caracterização física do solo.....	52
3.2.1.3 Análise química.....	53
3.2.1.4 Difração de raios – X.....	53
3.2.1.5 Análise térmica.....	54
3.2.2 Moldagem dos corpos-de-prova e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito.....	55

3.2.2.1 Parede monolítica de solo-cimento.....	55
3.2.2.2 Tijolos ecológicos de solo-cimento.....	56
3.2.3 Ensaio tecnológicos.....	56
3.2.3.1 Absorção de água.....	58
3.2.3.2 Resistência à compressão simples.....	59
3.2.3.3 Durabilidade.....	59
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>65</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA-MINERALÓGICA.....	65
4.2 ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	74
4.2.1 Parede monolítica de solo-cimento incorporado com resíduo de granito.....	74
4.2.2 Tijolos ecológicos de solo-cimento com resíduo de granito.....	82
4.3 AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS UTILIZADAS.....	97
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>6 POSSÍVEIS LINHAS DE PESQUISA.....</b>	<b>101</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>102</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AASHTO	- American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	- Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	- American Society for Testing and Materials
ATD	- Análise Térmica diferencial
ATG	- Análise Termogravimétrica
CAGEPA	- Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
CAPES	- coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEPED	- Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
CINVA	- Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento
EVA	- Etilene Vinil Acetate
ICPA	- Instituto del Cemento Portland Argentino
IP	- Índice de Plasticidade
LL	- Limite de Liquidez
LP	- Limite de Plasticidade
NBR	- Norma Brasileira
PCA	- Portland Cement Association
PIB	- Produto Interno Bruto
RCD	- Resíduo da construção e demolição
RCS	- Resistência a Compressão Simples
ResidLAB	- Laboratório de resíduos
RG	- Resíduo de Granito
UAEC	- Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
UAEMa	- Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais
UFCG	- Universidade Federal de Campina Grande
USCS	- Unified Soil Classification System

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Granito e seus minerais constituintes – (a) Feldspato, (b) Quartzo rosa, (c) Mica, (d) Rocha Granito.....	18
Figura 2.2: Discos cortantes de concreção diamantada. (a)máquina monodisco (b)máquina multidisco. ....	21
Figura 2.3: Esquema do beneficiamento do granito. ....	21
Figura 2.4: Lama abrasiva descartada exposta ao meio ambiente .....	23
Figura 2.5: Casa de taipa no interior de Minas Gerais.....	25
Figura 2.6: (a) Construção com tijolos de solo-cimento (b) Construção de paredes monolíticas de solo-cimento.....	27
Figura 2.7: Colocação das guias verticais, montagem das formas e compactação.....	33
Figura 3.1: Lama abrasiva proveniente da GRANFUJI/SA .....	47
Figura 3.2. Solo empregado na fabricação dos tijolos.....	48
Figura 3.3: Esquema da metodologia de trabalho.....	50
Figura 3.4: Equipamento modelo 1064 da CILAS.....	51
Figura 3.5: Determinação dos limites de liquidez e de plasticidade.....	52
Figura 3.6: Ensaio de compactação.....	53
Figura 3.7: Equipamento XRD 6000 da Shimadzu para difração de raios-X.....	54
Figura 3.8: Analisador térmico RB 3000.....	54
Figura 3.9: Corpo-de-prova cilíndrico.....	55
Figura 3.10: Prensa manual modular SAHARA, desmoldagem de tijolo de solo-cimento com resíduo granítico.....	56
Figura 3.11: Cura dos tijolos.....	57
Figura 3.12: Pesagem dos tijolos em balança digital de precisão de 0,1g.....	58
Figura 3.13: Ensaio de resistência á compressão simples com tijolo e solo-cimento e corpo-de-prova cilíndrico.....	59
Figura 3.14: Etapas de um ciclo de molhagem e secagem para estudo da durabilidade para parede monolítica.....	60
Figura 3.15: Etapas de um ciclo de molhagem e secagem para estudo da durabilidade para tijolos ecológicos.....	62
Figura 4.1: Distribuição granulométrica acumulada do solo.....	65
Figura 4.2: Distribuição granulométrica acumulada do resíduo de granito.....	66
Figura 4.3: Curva de compactação do solo.....	69
Figura 4.4: Raios X do solo estudado na pesquisa.....	71
Figura 4.5: Raios X do resíduo de granito estudado na pesquisa.....	72
Figura 4.6: Análise térmica diferencial (ATD) do resíduo granítico.....	73
Figura 4.7: Análise termogravimétrica (ATG) do resíduo de granito estudado.....	74
Figura 4.8: Absorção de água dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporado com 30, 40 e 50% de resíduo de granito .....	75
Figura 4.9: Resistência à compressão simples dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporados com 30% de resíduo de granito .....	76
Figura 4.10: Resistência à compressão simples dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporados com 40% de resíduo de granito.....	77
Figura 4.11: Resistência à compressão simples dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporados com 50% de resíduo de granito .....	78
Figura 4.12: Variação de volume dos corpos-de-prova de solo-cimento incorporado com 30, 40 e 50% de resíduo de granito submetidos aos ciclos de molhagem e secagem.....	80
Figura 4.13: Perda de massa dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporado com resíduo de granito ao final do sexto ciclo de molhagem e secagem.	

.....	81
Figura 4.14: Absorção de água dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito para o traço 1:9.....	83
Figura 4.15: Absorção de água dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito pra o traço 1:10.....	84
Figura 4.16: Absorção de água dos tijolos de solo-cimento incorporado com resíduo de granito para o traço 1:12.....	85
Figura 4.17: Resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito para o traço 1:9.....	87
Figura 4.18: Resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento incorporado com resíduo de granito para o traço 1:10.....	88
Figura 4.19: Resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito para o traço 1:12.....	89
Figura 4.20: Concentração de tensões em peças vazadas.....	91
Figura 4.21: Área de concentração de tensão nos tijolos vazados de solo-cimento incorporado com resíduo de granito.....	92
Figura 4.22: Variação de volume para os tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito submetidos aos envelhecimento para o traço 1:9.....	92
Figura 4.23: Variação de volume para os tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito submetidos aos envelhecimento para o traço 1:10.....	93
Figura 4.24: Variação de volume para os tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito submetidos aos envelhecimento para o traço 1:12.....	95
Figura 4.25: Desgaste dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito após a escovação, durante o ensaio de durabilidade .....	95
Figura 4.26: Perda de massa dos tijolos de solo-cimento incorporados com RG ao final dos ciclos de molhagem e secagem .....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Faixas granulométricas consideradas ideais para solo-cimento.....	28
Tabela 2.2: Faixas granulométricas consideradas ideais para solo-cimento.....	29
Tabela 2.3: Limites especificados para controle de qualidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento.....	32
Tabela 2.4: Tipos de tijolos de solo-cimento.....	35
Tabela 3.1: Teores de solo e resíduo de granito na fração “solo + resíduo de granito” do traço utilizados na moldagem dos corpos-de-prova.....	55
Tabela 3.2: Teores de solo e resíduo de granito na fração “solo + resíduo de granito” do traço utilizados na moldagem dos tijolos ecológicos.....	56
Tabela 3.3: Ensaio tecnológico .....	57
Tabela 4.1: Distribuição de tamanho das partículas.....	67
Tabela 4.2: Índices de Atterberg e atividade coloidal do solo.....	67
Tabela 4.3: Composição química dos solos e resíduo de granito.....	69
Tabela 4.4: Resistência à compressão simples ao longo dos ciclos de molhagem e secagem (MPa).....	79
Tabela 4.5: Absorção de água dos tijolos de solo-cimento e RG curados normalmente e dos tijolos submetidos ao envelhecimento.....	86
Tabela 4.6: Resistência a compressão simples dos tijolos de solo-cimento e RG curados normalmente e dos tijolos submetidos ao envelhecimento.....	90

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores detentores mundiais de reservas de rochas ornamentais, em especial o granito, cuja exploração vem despontando como importante ramo da economia nacional. Entretanto, do ponto de vista ambiental a indústria de beneficiamento de granito vem se tornando uma preocupação, sobretudo devido à grande quantidade de resíduo gerado durante as etapas de corte e polimento das rochas e a disposição inadequada desses rejeitos, geralmente em vazadouros a céu aberto, provocando além da poluição visual, contaminação do ar e até sérios danos a saúde humana e de animais. O resíduo de corte de granito, conhecido como lama, é uma massa mineral composta, basicamente, por água, granalha, cal e rocha moída. Uma vez seca a lama granítica forma um pó de granulometria extremamente fina, não biodegradável, não tóxico e inerte.

Nas ultimas décadas inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de buscar técnicas que viabilizem o reaproveitamento do resíduo de serragem de granito. Estudos recentes indicam que este material possui boa aplicabilidade na fabricação de materiais cerâmicos (SOUSA, 2006; NEVES, 2002; OLIVEIRA, 2005). A utilização do resíduo de granito para a fabricação de solo-cimento apresenta diversas vantagens, dentre as quais se destacam: redução dos custos de produção, redução na área destinada à disposição dos resíduos, contribuição para a preservação dos recursos naturais e para o desenvolvimento da sustentabilidade, dentre outras.

Entretanto ainda é preciso ampliar os conhecimentos a cerca do comportamento de solo-cimento e resíduo de granito ao longo do tempo, haja vista que a produção de materiais mais duráveis é necessária tanto para a sustentabilidade quanto para a segurança das estruturas. Por isso estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduos é imprescindível para que sejam largamente utilizados no mercado. Por durabilidade entende-se a capacidade de um material manter a sua integridade quando submetido à ação de agentes ambientais. Os fenômenos físicos e



químicos que atuam sobre determinado material provocam um processo de degradação que alteram suas propriedades físicas, mecânicas, químicas e térmicas, chamado envelhecimento. O desconhecimento da velocidade de degradação favorece o surgimento de patologias prematuras.

Os aspectos motivadores desta pesquisa foram especialmente dois: primeiramente a necessidade de novas pesquisas sobre a reciclagem de resíduo granito e sua aplicação na construção civil e em segundo lugar a necessidade de estudos relacionados à durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento associados a resíduos.

Nesta pesquisa foi estudada a durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito. A metodologia empregada foi a do envelhecimento acelerando através dos ciclos de molhagem e secagem. Haja vista que poucos estudos foram desenvolvidos neste sentido, os resultados aqui obtidos visam ainda contribuir com diretrizes e parâmetros a serem comparados.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O principal objetivo desta pesquisa foi estudar a durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito, através do processo de envelhecimento acelerado.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Para a obtenção dos resultados que viabilizassem alcançar o objetivo principal foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) caracterizar física e mineralogicamente as matérias primas convencionais e alternativas (Resíduo de granito);
- b) avaliar o comportamento mecânico de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito através da resistência a compressão simples (RCS) e absorção de água;

- c) verificar a variação de volume e perda de massa das paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito ao longo dos ciclos de molhagem e secagem;
- d) comparar e avaliar as metodologias empregadas nesta pesquisa.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A indústria da construção civil representa uma significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, cerca de 15%, e ocupa posição de relevo na economia brasileira. Entretanto, como destaca Pereira (2008), quanto aos impactos ambientais que gera, a indústria da construção civil é hoje um dos grandes desafios para a sustentabilidade, visto que é responsável pelo consumo de uma grande parcela dos recursos naturais; cerca de 60 mil ton/ano de cerâmica, 40 mil ton/ ano de cimento e 200 mil ton/ ano de produtos a base de cimento.

Construções ecologicamente viáveis são metas da engenharia civil para o novo século. Essas construções baseiam-se no aproveitamento e redução de resíduos, desenvolvimento de tecnologias limpas, uso de materiais recicláveis e/ou reutilizáveis e aplicação de resíduos como materiais secundários.

Por esta razão diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas na busca por materiais e técnicas construtivas que minimizem os impactos ambientais decorrentes das construções, desde a fabricação dos materiais até o acabamento da obra arquitetônica. De acordo com Sousa (2006) os tijolos de solo-cimento, obtidos a partir da mistura de solo, cimento Portland e água, ganham destaque entre os materiais de construção alternativa. Estudos recentes mostram que a incorporação de alguns resíduos ao solo-cimento agrega ao material maior benefício ambiental e maior desempenho tecnológico, dentre os resíduos estudados o resíduo de serragem de granito destaca-se pelas suas propriedades e grande abundância no Brasil.

### **2.1 ROCHA DE GRANITO ORNAMENTAL**

As rochas ornamentais possuem grande importância econômica e largo campo de aplicação, mais especialmente no setor construtivo como revestimento de paredes e pisos (ARGONZ, 2007).

O maior produtor mundial de rochas ornamentais é a Itália, seguida pela China e Espanha. O Brasil, na quinta posição, extrai mais de 450 tipos de rocha de vários padrões e tonalidades (GONÇALVES, 2000). Dentre as rochas ornamentais encontram-se o granito, quartzito, mármore, arenitos, entre outros. Apenas para efeito comercial, todas as rochas com alta resistência ao desgaste e beleza são chamadas de forma generalizada de granito.

Em termos geológicos, os granitos são rochas ígneas e metamórficas de granulometria grossa compostas principalmente dos minerais quartzo, feldspato e mica (Fig.2.1) alguns desses constituintes podem estar ausentes em determinadas associações mineralógicas, anotando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas. Fazem parte deste grupo, a álcali feldspato granito, quartzo monzonito, granodiorito, quartzo diorito, tonalito, dolerito, gabro, álcali sienito, nefelina sienito, gnaiss facoidal, ortognaiss, paragnaiss, charnockito, granulito, etc.



Figura 2.1. Granito e seus minerais constituintes – (a) Feldspato, (b) Quartzo rosa, (c) Mica, (d) Rocha Granito.

O Brasil detém a maior parte das reservas mundiais de granito, as principais estão localizadas no Espírito Santo, Minas Gerais e estados nordestinos, principalmente Bahia e Ceará. Com o crescimento do setor mineiro no país, a partir da década de 1960, surgiram muitas empresas de beneficiamento de granito. Apesar de o segmento significar consideráveis incrementos sociais e

econômicos, não se pode desconsiderar os problemas ambientais decorrentes desta atividade, em especial a geração de quantidades expressivas de resíduos os quais, em sua maior parte, são destinados de forma inadequada levando a contaminação dos corpos hídricos e do solo, poluição atmosférica, desfiguração da paisagem e prejuízos à saúde (PREZOTTI et al., 2004).

É necessário buscar o gerenciamento adequado dos resíduos, priorizando o uso de novas tecnologias de reutilização e reciclagem. Silva & Vidal (2003) ressaltaram a importância do aproveitamento dos rejeitos de lavras de granito e propuseram sua aplicação como matéria-prima para a construção civil, na forma de alicerce, muro de arrimo, paralelepípedos, pedra tosca para calçamentos, cascalho para aterros, britas de pós, de modo a criar uma fonte de renda mínima com agregação de valor ao material extraído.

### **2.1.1 Beneficiamento das rochas de granito ornamentais**

Na maioria das indústrias brasileiras o processo de beneficiamento de granito e demais rochas ornamentais obedece basicamente às fases seguintes: extração, desdobramento, polimento e acabamento (PEITER et al., 2001).

Antes mesmo da extração dos blocos de rocha, a escolha da jazida já constitui uma etapa importante e deve considerar a qualidade da rocha e seu valor comercial. De acordo com Peyneau & Pereira (2004) os blocos possuem dimensões médias em torno de 190 x 180 x 300 mm e pesam cerca de 30 ton, estas dimensões podem variar a fim de obter-se um melhor aproveitamento do material durante a extração e de maneira que possibilitem o transporte até as serrarias. Durante a extração é gerado o resíduo de lavra, constituído de pedaços de rocha não aproveitados e rochas fissuradas.

Nas serrarias ocorre a transformação dos blocos em chapas com espessuras padrão de 10, 20 ou 30 mm, através da utilização de máquinas apropriadas chamadas teares (PEYNEAU & PEREIRA, 2004). O corte dos blocos realizados com teares é o mais amplamente difundido, porque conjuga alguns fatores como: maior flexibilidade, elevada produtividade, custos relativamente reduzidos, além de uma boa relação custo/benefício do investimento inicial. Durante a serragem dos blocos gera-se uma lama em forma de polpa abrasiva

composta basicamente de água, granalha, cal e rocha moída. A cal é utilizada no tear com os objetivos de lubrificar e esfriar as lâminas de serragem, evitar a oxidação das mesmas, limpar os canais entre as chapas, enquanto a granalha serve como abrasivo para facilitar a serragem.

Após passar pelos teares, a lama é drenada por um sistema de esgotamento, seguindo para tanques de decantação, onde a água é reaproveitada e o material sólido é retirado e depositado nos pátios das empresas. O desgaste das lâminas pode produzir pequenos fragmentos metálicos que são incorporados ao resíduo. A quantidade de resíduo gerado por cada processo depende da serrabilidade de cada material. O mármore, por exemplo, possui serrabilidade maior que a dos granitos, ou seja, permite ser desgastado com maior eficiência do equipamento, gerando uma quantidade de resíduo bem menor (GONÇALVES, 2000)

A última fase é a de corte e polimento que transforma a chapa de granito em mosaicos, esse processo pode ser efetuado de forma manual, mecânica ou automatizado (robotizada). Nesta etapa é feita a uniformização da superfície, polimento, lustração, corte e acabamento de maneira a se adequar com as especificações que o produto final requer. Aqui também é gerado resíduo, embora em pequena quantidade, conhecido como aparas.

Segundo Oliveira (2005) a tecnologia de corte mais divulgada emprega discos cortantes de concreção diamantada, existindo máquinas monodiscos (Fig.2.2a) e multidisco (Fig.2.2b). No corte as lâminas de pedra são cortadas em pequenas peças como ladrilhos, mosaicos ou cantarias. Já durante a fase de polimento, as máquinas mais utilizadas são as polidoras de tapete. Neste processo são utilizados vários abrasivos de grão progressivamente decrescente, a dimensão do grão com que se inicia o processo de polimento depende do tipo de material e características da sua superfície.

Os abrasivos são constituídos por uma resina de poliéster insaturada, partículas de carbono de silicone (de várias dimensões), carbonato de cálcio, cloreto de sódio e óxidos.



Figura 2.2: Discos cortantes de concreção diamantada. (a) máquina monodisco (b) máquina multidisco (Fonte: OLIVEIRA, 2005).

Após o acabamento a rocha está pronta para ser comercializada. O fluxograma da Figura 2.3 mostra as etapas do beneficiamento do granito ornamental e os resíduos gerados em cada uma delas.

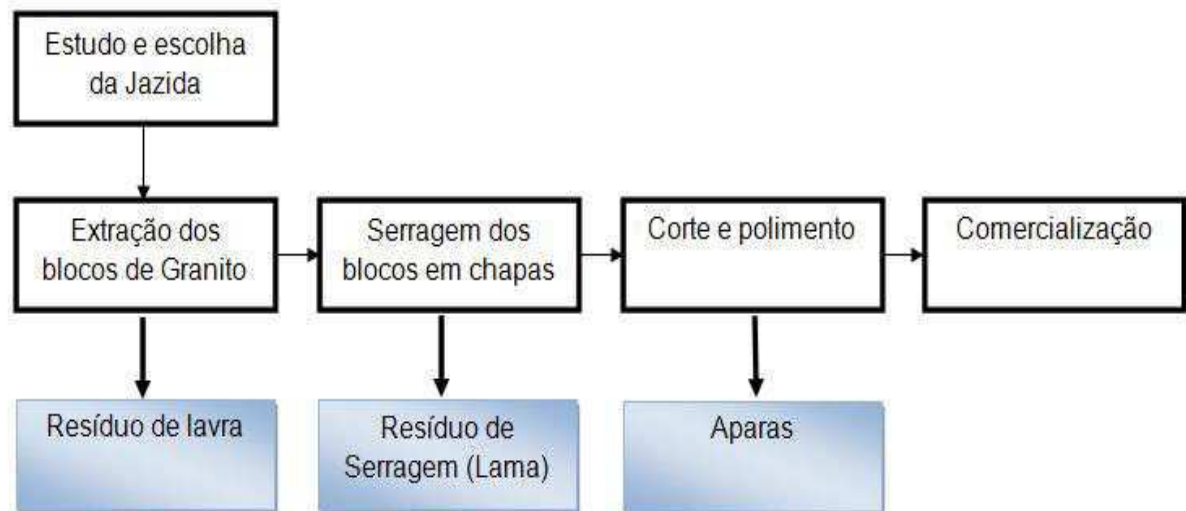


Figura 2.3: Esquema do beneficiamento do granito.

### **2.1.2 Impactos ambientais.**

Apesar do segmento de rochas ornamentais acomodarem uma importante parcela do crescimento econômico nacional, não se pode deixar de considerar os problemas ambientais decorrentes desta atividade, como contaminação dos corpos hídricos e do solo, poluição atmosférica, desfiguração da paisagem e danos à saúde (PREZOTTI et al., 2004).

Um dos grandes problemas para a indústria mineradora é a elevada quantidade de resíduos gerada em cada etapa da produção, desde a extração da rocha até o acabamento final. Segundo Felix (2001) esse é um fator limitante para as indústrias do ramo, já que aproximadamente 30% do material se perdem durante o processamento. São cerca de 200.000 ton. de resíduos sólidos por ano, segundo Mothé Filho, et al. (2005) esse rejeito pode ocasionar impactos ambientais negativos quando descartados de forma inadequada. Portanto, é necessário buscar o gerenciamento apropriado destes resíduos, priorizando o uso de novas tecnologias de reutilização e reciclagem.

Os resíduos do beneficiamento de granito são basicamente de dois tipos: pedaços de pedras desperdiçadas por possuírem menor qualidade ou pouco valor comercial e as lamas que se caracterizam como sendo a massa mineral resultante dos processos de serragem, polimento e corte. Esses resíduos são não biodegradáveis e classificados de acordo com a norma ABNT NBR 10004/04 como resíduo classe III – inerte e não apresenta toxicidade.

De acordo com Oliveira (2005) as lamas surgem devido à água que é utilizada para a refrigeração das máquinas, que em conjunto com o pó resultante dos processos de corte e polimento. As lamas geralmente são depositadas em terrenos próximos da indústria ou nos próprios terrenos desta, formando aterros de superfície com coloração escura, quase preta que facilmente se destaca na paisagem (Fig. 2.4)





Figura 2.4: Lama abrasiva descartada exposta ao meio ambiente.

Como as rochas graníticas possuem elevada dureza, no corte é utilizada além da água e das serras diamantadas, a granalha de aço e cal hidráulica. Assim, estes constituintes entram também na composição das lamas, além do pó da própria pedra.

Para Oliveira (2005), embora a lama do granito seja considerada inerte e atóxica, sua geração indiscriminada e disposição inadequada causam além de incômodo e despesa para as empresas, consideráveis impactos ao meio ambiente, dentre os quais se destacam: alteração das condições de drenagem do solo, poluição do ar, poluição visual, modificação e destruição da paisagem natural e danos a saúde humana, quando seca, a lama forma um pó que, se inalada, pode causar silicose.

Quanto aos recursos hídricos, as lamas podem alterar as características tanto das águas superficiais quanto sub-superficiais quer através da solubilização das lamas, quer do seu arraste por suspensão. Quanto à fisionomia da paisagem, os aterros superficiais de lamas graníticas causam profundas transformações, pois criam elevações de maior ou menor amplitude de resíduos, parecendo verdadeiros “abscessos” na paisagem, prejudicado grandemente do ponto de vista estético e visual. Um fator agravante é a proximidade de elementos e conjuntos construídos ou naturais com interesse cultural, científico, histórico,

arquitetônico ou estético e ainda quando se situam junto a estradas e caminhos (PINTO, 2001; OLIVEIRA, 2005).

A disposição dos resíduos industriais provenientes das empresas mineradoras é um dos grandes desafios do século XXI. Nesta direção pesquisas sobre reciclagem de resíduos vêm sendo desenvolvidas em todo o mundo. Estas se encaixam dentro da recente abordagem ambiental cujo objetivo é principalmente o desenvolvimento sustentável, com a minimização do descarte e aproveitamento de resíduos como insumo de novos produtos, visando economia de matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria da saúde e segurança da população (CAMPOS, 2007).

A utilização de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de solo-cimento tem se mostrado uma alternativa ao desperdício desse material e ao mesmo tempo à sustentabilidade do setor construtivo.

## **2.2 SOLO-CIMENTO**

De acordo com a Castro (2008), o solo-cimento é o produto resultante da cura da mistura íntima compactada de solo, cimento Portland e água, em proporções estabelecidas através de dosagem e executada conforme norma da ABNT NBR 12253/92.

Por ser um material abundante e de fácil obtenção na natureza, desde os primórdios da humanidade o solo vem sendo utilizado para construir abrigos eficientes contra as hostilidades do meio ambiente, sobretudo em locais onde o manuseio de rochas e madeira é difícil.

Há mais de 3.000 anos, solos melhorados já eram usados na construção de templos na Babilônia, essa é, provavelmente, o mais antigo método popular de construção. O uso de solos em edificações foi visto desde grandes construções, como a muralha da China, com aproximadamente três mil quilômetros de extensão até habitações simples, como a Taos Pueblo no Novo México, apontada pela UNESCO como uma das favelas mais antigas do mundo e patrimônio mundial.

Outra aplicação do solo como material de construção muito popular até hoje, é a taipa. No Brasil, cidades como Ouro Preto, Diamantina e Paraty têm em comum cerca de 400 anos de uso intensivo da taipa-de-pilão, do adobe, e da taipa-de-sopapo ou pau-a-pique (Fig. 2.5). Os métodos de construção utilizando solo foram intensamente empregados até 1845, quando surgiu um novo material, o cimento Portland. A partir de meados do século XIX, o solo começou a ser visto como material de segunda categoria e passou a ser utilizado, quase que exclusivamente, nas áreas rurais.



Figura 2.5: Casa de taipa no interior de Minas Gerais (Fonte: BORGES & COLOMBO, 2009).

De acordo com Grande (2003), o solo-cimento foi utilizado pela primeira vez em 1915 nos Estados Unidos pelo engenheiro Bert Reno, que pavimentou uma rua com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland. Desde então houve poucos relatos do uso desta técnica até 1935, quando a *Portland Cement Association* (PCA) iniciou pesquisas e estudos nesta área.

No Brasil, as pesquisas com solo-cimento começaram a ganhar destaque a partir da década de 1930, com a regulamentação de sua aplicação pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Em 1941 toda a pavimentação do aeroporto de Petrolina-PE foi feita com solo-cimento e em 1970 a rede pavimentada de solo-cimento no Brasil completou 7500 km. A partir de 1948 o solo-cimento passou a ser utilizado também na construção de habitações,

com a construção de duas casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis-RJ. O bom estado de conservação destas obras após vários anos de utilização atestam a qualidade do produto e da técnica construtiva (SOUSA, 2006).

Apesar das vantagens conhecidas, no Brasil, o interesse pelo solo-cimento na construção de habitações, em substituição às alvenarias convencionais foi desaparecendo na proporção que outros materiais, na maioria dos casos industrializados, surgiam no mercado, sendo sua utilização é mais expressiva em obras de pavimentação (cerca de 90% das bases de nossas rodovias são de solo-cimento compactado), reforços e melhorias de solos e, finalmente, em barragens e contenções (GRANDE, 2003).

### 2.2.1 Uso e aplicação do solo-cimento

O uso do solo-cimento representa diversas vantagens, destacando-se do ponto de vista econômico, abundância do solo, principal componente, o baixo custo de produção, redução do uso de argamassas, diminuição do desperdício nos canteiros de obras e isenção de mão-de-obra especializada. Há também os benefícios ecológicos como redução dos resíduos de construção, dispensa da queima em fornos, como acontece com os tijolos convencionais, entre outros.

Na construção civil, o solo-cimento possui hoje diversas aplicações como em edificações, paisagismo, pavimentação, contenção de encostas, contenção de córregos e pequenas barragens (CAMPOS, 2007).

No Brasil as principais formas de utilização do solo-cimento são:

- parede monolítica, onde o solo-cimento é compactado no próprio local, em camadas sucessivas, no sentido vertical, com auxílio de formas e guias, formando painéis inteiriços, sem juntas horizontais (Fig. 2.6a).
- tijolos ecológicos que são produzidos em prensas, dispensando a queima em fornos. Podem ser maciços ou vazados. Além de grande resistência, outra vantagem desse tijolo é o seu excelente aspecto (Fig. 2.6b).
- pavimentos, os quais são compactados no local, com auxílio de fôrmas, mas em uma única camada. Eles constituem placas maciças, totalmente apoiadas no chão.



Figura 2.6: (a) Construção com tijolos de solo-cimento (b) Construção de paredes monolíticas de solo-cimento (Fonte: CAMPOS, 2007).

### 2.2.2 Composição do solo-cimento

Os principais componentes do solo-cimento são solo, cimento e água. Podendo ser adicionado ainda cal como potencializador de suas propriedades ou para corrigir a acidez do solo. Estudos recentes também têm verificado a incorporação de materiais alternativos como, vidro, borracha, papel, resíduo da construção e demolição, dentre outro, agregando ainda mais valor ambiental ao material.

A quantidade de materiais (solo, cimento e água) a serem misturadas é chamada traço e pode ser expresso em unidade de massa. A relação entre as quantidades deve produzir tijolos com qualidade satisfatória após os primeiros sete dias de cura. Segundo a ABCP (1986), a dosagem do solo-cimento deve ser feita por meio de ensaios de laboratório, seguido pela análise e interpretação dos resultados baseando-se em critérios pré-estabelecidos. O resultado final consiste na fixação de três parâmetros quantidade de cimento, quantidade de água e massa específica aparente seca máxima.

### 2.2.2.1 Solo

Segundo Castro (2008) o solo é um conjunto de minerais, orgânicos, água e ar, não-consolidados, normalmente localizados à superfície da terra, com atividade biológica e capacidade para suportar a vida das plantas. Da decomposição de rochas que inicialmente constituíam a crosta terrestre, se originam os solos.

Na composição do solo-cimento, o solo é o material que entra em maior proporção, mas não pode ser qualquer solo. O solo para a mistura de solo-cimento deve estar limpo, sem galhos, folhas, raízes ou outro material orgânico. Para Silva et al. (2008), o solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, já que exigem baixo consumo de cimento. A areia pura não contém argila, logo é inadequada para o solo-cimento, pois acabaria produzindo blocos de concreto ao invés de tijolos de solo-cimento. O solo argiloso, que contém mais argila do que areia, também é inadequado, já que requer uma quantidade maior de cimento, dificultando a mistura e compactação. Este tipo de solo pode ser corrigido com a adição de areia, as correções, porém devem respeitar os limites econômicos e técnicos (GRANDE, 2003).

Segantini (2000) apresenta as faixas de granulometria do solo consideradas ideais para a composição do solo-cimento, como mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Faixas granulométricas consideradas ideais para solo-cimento.

Autores	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Silte + Argila (%)	LL (%)
CINVA (1963)	45-80	-	-	20-25	-
ICPA (1973)	60-80	10-20	5-10	-	-
MAC (1975)	40-70	< 30	20-30	-	-
CEPED (1984)	45-90	-	< 20	10-55	45-50
PCA (1969)	65	-	-	10-35	-

(Fonte: SEGANTINI, 2000)

Os solos mais adequados para a fabricação de solo-cimento são os que possuem as características geotécnicas apresentadas na Tabela 2.2:

Tabela 2.2: Faixas granulométricas consideradas ideais para solo-cimento.

Características	Tijolos de solo-cimento NBR 10832/89	Paredes monolíticas de solo-cimento NBR 13553/96
% passando na peneira ABNT com abertura 4,2mm	100%	100%
% passando na peneira ABNT com abertura 4,8mm	-	100%
% passando na peneira ABNT 0,075mm (nº 200)	10 a 50%	15 a 50%
Limite de Liquidez	≤ 45%	≤ 45%
Índice de Plasticidade	≤ 18%	≤ 18%

(Fonte: SEGANTINI, 2000)

Os limites de liquidez e de plasticidade (limites de Atterberg) são valores que representam a trabalhabilidade dos materiais cerâmicos, ou seja, representam a transição entre os estados líquido – plástico – semi-sólido – sólido (CARVALHO, 2004). O limite de liquidez (LL) caracteriza a quantidade de água que adicionada ao solo é capaz de causar perda de coesão de suas partículas; e o limite de plasticidade (LP) é caracterizado pelo momento em que, se retirado progressivamente a umidade do solo, este passa do estado plástico para o estado semi-sólido; a razão entre o LL e o LP denomina-se índice de plasticidade (IP). Os limites de Atterberg descrevem o estado físico do solo e estão diretamente ligados as variações de volume por absorção de água.

### 2.2.2.2 Cimento

O material ligante do solo-cimento é o cimento Portland. A palavra cimento deriva do termo latino *caementun*, que romanos utilizavam para denominar a mistura de cal com pozolana, oriunda das cinzas vulcânica das ilhas gregas da

região de Pozzuoli. De acordo com Grande (2003) cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação ou o tempo de pega) e outras substâncias que determinam o tipo de cimento.

No solo-cimento, assim como em concretos e argamassas, a natureza do cimento deve ser considerada em vista de melhorar o desempenho desses materiais. É sabido que diferentes composições do cimento conduzem a comportamentos distintos da mistura de solo-cimento, principalmente no que se refere à fissuração por retração. Diversas pesquisas demonstram a evolução acerca da composição de cimentos e suas implicações na estabilização de solos. Miller & Azad (2000), por exemplo, comprovaram a eficiência e o potencial de alternativas tecnológicas na composição de cimentos ao observarem a influencia do cimento Portland de alto forno como estabilizadores de solos e notaram incrementos de resistência à compressão e redução do índice de plasticidade em solos argilosos.

De acordo com norma da ABNT NBR 8491/84 o cimento utilizado em solo-cimento deve estar em conformidade com as normas da ABNT NBR 5732/91, NBR 5733/91, NBR 5735/91 e NBR 5736/91. Incorporado o cimento ao solo, suas partículas envolvem fisicamente os grânulos do solo formando agregados que aumentam de tamanho à medida que se processam a hidratação e cristalização do cimento permitindo obter um material em que a absorção e perda de umidade não causam grandes variações de volume, e não se deteriora quando submerso em água, há o aumento da resistência a compressão e, com a diminuição da permeabilidade aumenta a durabilidade (LOPES, 2002)..

Segundo Milani & Freire (2006), na estabilização do solo com o cimento, ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento, formando um gel que preenche parte dos vazios da massa e une os grãos adjacentes do solo, conferindo-lhe resistência inicial; paralelamente, ocorrem reações iônicas que provocam a troca de cátions das estruturas argilominerais do solo com os íons de cálcio provenientes da hidratação do cimento adicionado.



### 2.2.3 Fabricação de solo-cimento

O primeiro passo antes da preparação do solo-cimento é a escolha do traço, ou seja, a dosagem dos componentes, a qual deve ser estudada com cuidado, tendo por base as propriedades necessárias para cada aplicação. Em geral, traços 1:9 e 1:10 são satisfatórios.

A escolha do traço adequado deve ser o que apresentar menor consumo de cimento e atender aos critérios de resistência à compressão e absorção apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Limites especificados para controle de qualidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento

CARACTERÍSTICA	Tijolos de solo-cimento NBR 10836/94	Parede monolítica de solo-cimento NBR 13553/96
Resistência a compressão simples (28 dias)	≥ 2,0 MPa	-
Resistência a compressão simples (7 dias)	-	≥ 1,0 MPa
Absorção de água	≤ 20 %	≤ 20 %

Os demais passos para a confecção do solo-cimento são: preparação do solo, mistura e homogeneização dos materiais, compactação e cura. Antes de ser misturado ao cimento, o solo deve ser seco ao ar, destorroado e passado em peneira ABNT nº4.

No misturador deve ser colocado inicialmente os componentes secos que são misturados até serem completamente homogeneizados, ou seja, apresentar coloração uniforme. A água deve ser adicionada em forma de chuva (com um regador, por exemplo) garantindo boa distribuição sobre a massa até que atinja umidade ideal, essa verificação pode ser feita manualmente no local da obra com relativa precisão através do teste da mão - que consiste em formar com as mãos um “bolo” que mantenha sua forma inalterada ao abrir a mão.

Do misturador a massa vai para compactação seja em prensa manual ou hidráulica, para tijolos, ou em formas no, caso das paredes monolíticas onde recebe a forma desejada. Juntamente com as fases de seleção, preparo e

estabilização de solo, a prensagem das misturas de solo-cimento merece cuidados especiais, uma vez que essas fases do processo de produção podem significar a fronteira entre o sucesso ou o fracasso de todos os esforços empenhados na fabricação deste material. A fase de compactação do solo-cimento visa o melhoramento de suas características, não só quanto à resistência, mas, também, em relação à permeabilidade, compressibilidade, absorção d'água e, principalmente, estabilidade. Castro (2008) destaca que cada solo possui uma curva própria de peso específico aparente seco versus teor de umidade para uma determinada energia de compactação. Para cada solo há uma umidade ótima para a qual existem valores de densidade e resistência máximas.

Após a prensagem a última fase é a cura que dura em média 28 dias.

#### **2.2.4 Parede monolítica de solo-cimento**

A construção de parede monolítica de solo-cimento é uma técnica similar à taipa de pilão usada no período colonial, a massa é compactada diretamente na forma montada no próprio local da parede, em camadas sucessivas, no sentido vertical, formando painéis inteiriços sem juntas horizontais. O conjunto de fôrmas é colocado e completado o preenchimento total da segunda fôrma, a primeira é retirada e colocada sobre a outra. E assim sucessivamente, até se atingir a altura desejada da parede, como demonstra a Figura 2.7.

As paredes monolíticas de solo-cimento são executadas com a compactação de solo-cimento na umidade ótima em formas, geralmente de madeira, facilmente desmontáveis. Essa técnica construtiva, além de ter baixo custo, é de simples execução e não necessita de mão de obra especializada. Dentre outras vantagens, apresenta baixo consumo de energia, utiliza materiais locais e renováveis, proporciona um excelente conforto térmico, além de apresentar bom desempenho estrutural e na maioria das vezes o acabamento final das paredes dispensa o uso de revestimento (CASTRO, 2008).

O solo-cimento compactado em paredes monolíticas constitui uma das alternativas de construção habitacional de pequeno impacto sobre o ambiente.



Figura 2.7: Colocação das guias verticais, montagem das formas e compactação. (Fonte: CAMPOS, 2007)

Os conjuntos de fôrmas devem ser retirados imediatamente após o término do painel inteiriço. Os furos deixados pelos tubos de PVC devem ser preenchidos com o próprio solo-cimento, a partir do dia seguinte à execução da parede.

Atunes (2008) destaca ainda que para galpões e moradias, as esquadrias (portas e janelas) devem ser assentadas concomitantemente à execução dos painéis, tomando o cuidado de reforçar os caixões das esquadrias, para evitar que deformem durante a compactação. Já as instalações hidro-sanitárias e elétricas das edificações com paredes monolíticas de solo-cimento podem ser executadas da mesma forma que nas construções convencionais. Entretanto, quando as instalações não forem embutidas, os rasgos nas paredes devem ser feitos, no máximo 48 horas após a compactação da mistura de solo-cimento.

Durante a cura as paredes devem ser molhadas pelo menos três vezes ao dia, durante uma semana, semelhante à cura dos tijolos de solo-cimento. Não é necessário revestir as paredes maciças de solo-cimento, mas convém fazer uma pintura de impermeabilização à base de látex (CASTRO, 2008).

### 2.2.5 Tijolos de solo-cimento

Os tijolos prensados de solo-cimento, também chamados tijolos ecológicos apresentam diversas vantagens em relação aos tijolos convencionais, tais como, maior conforto térmico e acústico, melhores condições de trabalho, pois o canteiro de obra fica mais bem organizado, proporcionando redução de desperdícios e geração de menor quantidade de entulho. Em relação ao fator econômico, verifica-se um menor custo de produção, uma vez que os equipamentos utilizados em sua produção são simples de baixo custo, e não carecem de mão-de-obra especializada para operar, além disso, pode ser feita no próprio canteiro de obras, reduzindo os custos com transporte.

Outra vantagem é a redução do uso de argamassas de assentamento e revestimento já que a qualidade e o aspecto final das peças são notadamente superiores, com maior regularidade dimensional e planicidade de suas faces, podendo até ser utilizado em alvenaria aparente, necessitando apenas de uma cobertura impermeabilizante como acabamento (SOUSA, 2006).

Do ponto de vista da sustentabilidade uma das principais vantagens dos tijolos ecológicos é não necessitar passar pelo processo de cozimento, no qual são consumidas grandes quantidades de madeira ou de outros combustíveis, como é o caso dos tijolos comuns produzidos em olarias. Além disso, ao contrário dos tijolos de argila queimada, que quando quebram não podem ser reaproveitados, os tijolos de solo-cimento podem ser moídos e prensados novamente, evitando o desperdício (SOUSA, 2006).

O processo de fabricação dos tijolos de solo-cimento é bastante simples, após o preparo da mistura de solo, cimento e água nas proporções adequadas, a massa é compactada em prensa que pode ser manual ou hidráulica.

No Brasil são produzidos diversos tipos de tijolos prensados de variados tamanhos e modelos, que são escolhidos de acordo com as necessidades do projeto, como mostra a Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Tipos de tijolos de solo-cimento

Tipo	Dimensões	Uso	Exemplo
Tijolo maciço comum	(5 x 10 x 20) cm	Assentamento de alvenaria semelhante ao tijolo convencional	
Tijolo maciço com encaixe	(5 x 10 x 21) cm	Assentamento com baixo consumo de argamassa	
½ tijolo com encaixe	(5 x 10 x 10,5) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	
Tijolo com dois furos e encaixe	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Assentamento a seco, com cola rança ou argamassa plástica. As tubulações das instalações hidro-sanitárias, elétricas e outras, passam pelo furos	
½ tijolo com furo e encaixe	(5 x 10 x 10) cm (7 x 12,5 x 12,5) cm (7,5 x 15 x 15) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	
Caneletas	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Empregado em execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagem de tubulações horizontais	

## 2.3 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Um dos principais componentes da poluição ambiental são os processos de industrialização, dos quais são gerados subprodutos em forma de resíduos, que quando descartados sem quais quer cuidados, representam um risco potencial a saúde pública e aos ecossistemas. Sob condições adequadas estes materiais podem ser reaproveitados, promovendo assim um crescimento harmônico e sustentável da sociedade.

O princípio do desenvolvimento sustentável está amparado no tripé crescimento econômico, equidade na distribuição de renda e preservação da natureza. John (2000) define ainda como o desenvolvimento capaz de atender às necessidades básicas de toda a população e garantir a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor, sem comprometer a possibilidade das próximas gerações atenda suas próprias demandas.

Para Capra (2005) a construção da sustentabilidade não pode desprezar o fato de que a própria natureza possui os mecanismos necessários para a sustentação da vida. Na natureza, o que é rejeito de uma espécie torna-se alimento para outra, da mesma forma nas comunidades humanas, os resíduos de uma indústria devem se tornar matéria-prima para outra.

Diante do grande volume de resíduos gerados pela indústria, a chamada política dos três R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) se coloca com uma alternativa não apenas viável, mas também necessária para a consolidação de uma comunidade sustentável. Como a redução da geração de resíduos implica quase sempre em adequações de processos produtivos, é muitas vezes inviável técnica e economicamente para a maioria das pequenas e médias indústrias.

A reciclagem por outro lado apresenta diversas vantagens, dentre as quais John (2000) destaca:

- preservação dos recursos ambientais;
- redução do volume de resíduos a ser depositado em aterros ou incinerado;
- redução do consumo de energia para a fabricação do mesmo produto;
- geração de empregos.

O aproveitamento dos resíduos mediante a reciclagem depende de sua prévia classificação. A NBR 10004/2004 classifica os resíduos de acordo com

suas propriedades físicas, químicas e risco de contaminação nos seguintes grupos:

Resíduo Classe I – Perigoso: apresenta risco a saúde pública e ao meio ambiente quando manuseado incorretamente. Incluem os materiais inflamáveis, corrosivos, radioativos, tóxicos e patogênicos;

Resíduo Classe II – não-inerte: São aqueles que não se enquadram como classe I ou classe III. Podem ser combustíveis, biodegradáveis e/ou solúveis em água.

Resíduos Classe III – Inertes: aqueles que quando em contato com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização descrito na norma NBR 10006/2004, não tem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos de potabilidade da água.

Para justificar a reciclagem de um resíduo deve-se considerar além de suas características e risco ambiental, sua disponibilidade e transporte como fatores economicamente determinantes.

### **2.3.1 – Incorporação de resíduos ao solo-cimento**

Em vista do crescente déficit habitacional no país, o solo-cimento se destaca como uma alternativa para construção de habitações populares, uma vez que reduz o custo total da obra sem comprometer a segurança e a qualidade de acabamento. Aliada a estas demandas, a necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais fazem com que a construção civil adquira novos conceitos e soluções técnicas visando à sustentabilidade de suas atividades.

Cordeiro et al. (2004) ressalta que uma das principais vantagens do solo-cimento é a possibilidade de incorporar a ele outros materiais como por exemplo, agregados produzidos com entulho reciclado e rejeitos industriais (sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto forno e outros). Assim, diversos tipos de resíduos agroindustriais, de mineração, de construção e demolição (RCD) têm sido estudados em conjunto com os tijolos ecológicos e paredes monolíticas de solo-cimento. Pesquisas mais recente incluem a fabricação de solo-cimento com

montículo do cupim (ALBUQUERQUE et al., 2008); casca de arroz e de braquiária (FERREIRA et al., 2008) entre outros.

Silva et al. (2008) estudou a incorporação de resíduo de EVA (Etilene Vinil Acetate), oriundo da fabricação de calçados, em tijolos de solo-cimento. Inicialmente foram testadas combinações de solo e EVA com os teores dos resíduos variando de zero a 50% em relação ao volume de solo. Foram obtidas as resistências à compressão de tijolos, prismas e painéis com diversas misturas. Os resultados mostram que à medida que foi aumentado o teor de EVA à resistência à compressão dos tijolos caíram sensivelmente. A mistura de solo, 10% de cimento em massa e 10% de resíduo de EVA em volume atendeu aos critérios da norma de alvenaria de vedação sem fim estrutural.

Os efeitos da adição da casca de arroz nas propriedades físico-mecânicas da mistura de solo-cimento foram avaliados por Milani & Freire (2008) visando à obtenção de composições de solo-cimento-casca de arroz com potencialidade para fabricação de materiais alternativos de construção. A pesquisa iniciou com o fracionamento, peneiramento e pré-tratamento da casca de arroz. Posteriormente, foram determinados absorção de água, compressão simples e de tração diametral dos corpos-de-prova de solo-cimento e casca de arroz, aos 7 e 28 dias de cura. Após análise dos resultados concluíram que as misturas de solo + teor de 12% de combinações de cimento e casca de arroz evidenciaram como materiais promissores para a fabricação de elementos construtivos, a serem utilizados em construções e instalações rurais.

Souza (2006) aprofundou os estudos de adição de resíduos da construção e demolição (RCD) a tijolos de solo-cimento, a fim de propor soluções técnicas para reduzir o custo de produção dos tijolos ecológicos de solo-cimento e melhorar sua qualidade técnica, além de propiciar condições para o aproveitamento deste resíduo. Os resultados obtidos mostraram que a adição do resíduo de concreto ao solo melhorou as propriedades mecânicas do solo-cimento, possibilitando redução de custos e produção de tijolos prensados de melhor qualidade, constituindo-se, portanto, numa excelente alternativa para o aproveitamento deste material.

Calmon et al. (1997) e Silva (1998) verificaram o potencial de aproveitamento do resíduo de serragem de granito para a produção de



argamassa de assentamento destinado a alvenarias. Também estudaram e comprovaram o potencial desse resíduo na produção de tijolos de solo-cimento.

### **2.3.2 Utilização de resíduo de serragem de granito em solo-cimento**

Os resíduos provenientes da serragem de granito podem ser de três tipos: resíduo de lavra, resíduo de corte, ou lama, e aparas. A lama do granito quando seca torna-se um resíduo sólido não biodegradável classificado como resíduo classe III - inerte. Para Chiodi Filho (2001) é de grande interesse para o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais e para a sustentabilidade deste mercado a criação e capacitação de centros de pesquisa para estudos de aproveitamento industrial de resíduos. Neste viés diversos estudos vêm sendo desenvolvidos.

Segundo Neves (2002) algumas características específicas dos resíduos graníticos, como sua fina granulometria, sua composição química predefinida e a inexistência de grãos mistos entre os componentes básicos, favorecem sua utilização na indústria. Neves (2002) demonstrou a viabilidade da utilização de resíduos de serragem de granito como matéria prima na produção de elementos construtivos cerâmicos, como tijolos e blocos.

Silva & Vidal (2003) ressaltaram a importância do aproveitamento dos rejeitos de lavras de granito para confecção dos diversos insumos de rochas de emprego imediato pela construção civil, na forma de alicerce, muro de arrimo, paralelepípedos, pedra tosca para calçamentos, cascalho para aterros e outros. Cordeiro et al. (2004) demonstrou o potencial dos resíduos de granito para utilização como substituto das cerâmicas sintéticas mais caras no processo de moldagem por injeção, destacando que a incorporação de resíduos nos processos cerâmicos implica sempre na obtenção de três vantagens: a economia de matérias-primas, redução de custos e dos impactos ambientais.

Feitosa (2004) pesquisou a utilização do resíduo de serragem de granito para uso em blocos de concreto e demonstrou ser esta uma aplicação viável, visto que os blocos produzidos com a incorporação destes resíduos apresentaram maior resistência à compressão simples que os produzidos com traço convencional.

Menezes et al. (2007) sugeriu a utilização de resíduos de caulim e granito na fabricação de peças cerâmicas e concluiu que é possível a incorporação de grandes quantidades de resíduos, de até 50%, em formulações para produção de tijolos maciços e furados e telhas.

Estudos recentes avaliam a utilização do resíduo de serragem de granito em tijolos de solo-cimento e parede monolítica. Moreira et al. (2003) avaliou a utilização do resíduo de serragem de granito, proveniente da indústria de pedras ornamentais do estado do Espírito Santo, como aditivo na fabricação de solo-cimento para construção civil. As misturas foram preparadas contendo até 10% em peso de resíduo, e sintetizadas em sete diferentes temperaturas entre 850°C e 1150°C. A evolução na formação de fases cristalinas nos corpos cerâmicos durante a sinterização foi acompanhada por DRX. As propriedades físico-mecânicas foram determinadas em função da temperatura de sinterização e porcentagem de resíduo adicionado. Os resultados indicaram que o resíduo de granito é um material polimineral não plástico constituído basicamente por sílica, feldspatos, mica e calcita. Uma série de transformações de fases ocorreram durante a sinterização. Observou-se ainda que o resíduo de serragem de granito tem uso provável em cerâmica vermelha, contribuindo para a minimização de resíduos e desenvolvimento auto-sustentado.

Menezes et al. (2007) estudou a incorporação de resíduo de serragem de granito na fabricação de cerâmica, especialmente blocos e telhas. Em sua avaliação concluiu que é possível a incorporação de até 50% de resíduo em formulações para produção de blocos e telhas cerâmicas e que a co-utilização do resíduo de granito e de caulim possibilitou obter propriedades físicas superiores às observadas nos corpos de prova com incorporação de apenas resíduo de caulim.

A inclusão da lama abrasiva de granito na produção de tijolos ecológicos e parede monolítica contribui para o desenvolvimento sustentável diminuindo o passivo ambiental nas indústrias beneficiadoras de granito, do ponto de vista econômico reduz ainda mais o custo de fabricação dos tijolos e constitui uma alternativa ecologicamente correta na construção civil.

A adição de resíduo de granito não altera a porcentagem de cimento no traço, mas reduz a quantidade de solo com a adição da lama granítica ao solo-

cimento, novas características são atribuídas ao material, estudá-las é indispensável para consolidar sua aplicação e utilização no mercado. As principais características a serem avaliadas são absorção, resistência a compressão e durabilidade.

## **2.4 DURABILIDADE**

Uma tecnologia pronta para ser utilizada deve ser o fruto do desenvolvimento de um novo produto, pois uma abordagem eminentemente tecnológica é insuficiente no seu desenvolvimento, sobretudo tratando-se do aproveitamento de resíduos.

Segundo Oliveira et al. (2006) a presença de compostos agressivos misturados aos resíduos sólidos pode eventualmente não afetar o comportamento tecnológico do material, mas pode expor os futuros usuários a riscos de saúde ou a prejuízos devido à baixa qualidade do produto alternativo proposto. Por esta razão é fundamental a estimativa do comportamento do novo produto dentro dos princípios de avaliação de desempenho. Considerando a complexidade dos mecanismos de degradação, a prolongada vida útil dos produtos da construção civil e o elevado custo das obras civis, a avaliação da durabilidade é certamente o aspecto mais importante do desenvolvimento de um novo material (OLIVEIRA et al., 2006)

A durabilidade pode ser definida como sendo a capacidade de um material manter a sua integridade quando submetido à ação de agentes ambientais. A agressividade do meio ambiente está diretamente relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas e independem das ações mecânicas e das variações volumétricas térmicas.

A agressividade ambiental pode ser classificada de acordo com a ABNT NBR 6118/2003 em cinco classes: fraca, moderada, forte e muito forte, onde o risco de deterioração da estrutura varia de insignificante a elevado, dependendo do tipo de ambiente.

Uma exigência para a durabilidade de uma estrutura é que esta seja projetada e construída de modo que sob as condições ambientais previstas na

época do projeto e quando utilizadas conforme preconizados em projeto conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil. Por vida útil entende-se o intervalo de tempo durante o qual as características da estrutura se mantêm, admitindo a observação dos requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais, este conceito aplica-se tanto a estrutura como às suas partes, segundo a ABNT NBR 6118/2003.

Os principais mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto descritos pela ABNT NBR 6118/2003 são:

a) lixiviação por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e carreiam os compostos hidratados da pasta de cimento;

b) expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado;

c) expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos;

d) reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica.

De acordo com Farias Filho (2007) para que haja confiança nas características tecnológicas de um novo material e a indicação deste como tecnologia aceitável a ser disponível no mercado é fundamental o conhecimento de suas condições de uso e sua vida útil.

O processo através do qual um dado material sofre transformações irreversíveis, capazes de comprometer sua qualidade e valor, é chamado degradação. Os agentes ou fatores de degradação podem ser físicos, químicos ou biológicos. Em relação aos solos estabilizados, Rojas et al. (2008) destaca que os principais fatores que afetam a integridade estrutural desses materiais são as condições ambientais, como variações de temperatura e umidade, além das solicitações impostas. A maneira como estes agentes agredem o material ou produto é denominado mecanismo de degradação.

É possível perceber e quantificar a degradação através de seus indicadores, que são propriedades mensuráveis, que expressam a variação nas propriedades ou desempenho do material durante sua avaliação ou utilização. A manutenção das propriedades é indispensável para justificar o desempenho do produto ao longo de sua vida útil (FARIAS FILHO, 2007).

Segundo Pereira (2008) entre as formas de avaliação da durabilidade está a perda de massa, a variação de volume ou expansão no final de determinado tempo ou número de ciclos de uma ação periódica, a exemplo da secagem e molhagem.

Farias Filho (2007) enfatiza também que no estudo da durabilidade a resistência a compressão é uma das propriedades que pode servir como parâmetro para quantificação e observação de possíveis variações quando se observa a vida útil de um material inserida em determinado meio ambiente. A verificação da resistência à compressão pelo ensaio padrão aos 28 dias é vantajosa por ser um parâmetro aceito universalmente, uma vez que existe relação direta entre a variação da resistência e durabilidade.

O estudo da durabilidade é indispensável na avaliação de novos materiais, por esta razão, diversas pesquisas acerca da durabilidade dos materiais vêm sendo desenvolvidas, através da exposição a diferentes condições. Farias Filho (1999) utilizou o ciclo de molhagem e secagem para estudar o envelhecimento do compósito argamassa-fibra de sisal feito com a adição de metacaulim e tijolo comum queimado.

Levy (2001) estudou a durabilidade de concretos produzidos com resíduos de alvenaria e de concreto endurecido e observou que os concretos produzidos com agregados reciclados apresentaram comportamento equivalente ou superior ao do concreto de referencia nos ensaios de carbonatação.

Silva (2002) avaliou o comportamento de um compósito produzido com cimento de escória de alto-forno reforçado com fibra de celulose empregando a metodologia de envelhecimento acelerado, que combina ciclos de molhagem e secagem. Silva (2002) realizou ensaios de 10, 20 e 40 ciclos, cada ciclo combinava seis horas de imersão em água potável a 70°C seguida de secagem em estufa na mesma temperatura. Os resultados demonstraram que a quantidade

de ciclos empregada simulava um envelhecimento correspondente a nove meses de envelhecimento natural.

O método de envelhecimento acelerado também foi empregado por Oliveira et al. (2006), para avaliar a durabilidade de compósitos de concreto de cimento Portland produzidos com agregados reciclados da construção civil. Em seus resultados percebeu-se que o compósito alternativo com 60% de entulho destacou-se pela menor degradação e pela melhor evidência do efeito pozolânico devido à presença de material cerâmico.

Rojas (2008) estudou a durabilidade de um solo contaminado e tratado com cimento Portland, utilizando a metodologia de envelhecimento acelerado com seis ciclos de molhagem e secagem. Os resultados mostraram que a variação volumétrica do solo contaminado com crescentes quantidades de resíduos oleosos e encapsulado com 10% de cimento se mostrou instável, já as amostras encapsuladas com 20% de cimento se mostraram estáveis, independente da quantidade de resíduos oleoso.

Xavier et al. (2009) analisando o envelhecimento acelerado em cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito observou que para as temperaturas de queima até 700°C o material pode reduzir as perda de resistência com o tempo de degradação melhorando as características de durabilidade.

#### **2.4.1 Ensaios de Durabilidade.**

O estudo da durabilidade consiste em expor o material às condições que simulam sua utilização ao longo de sua vida útil e avaliar sua degradação. Os métodos mais empregados são: ensaio de durabilidade natural, ensaio de durabilidade em uso e ensaio de durabilidade acelerada.

O ensaio mais eficiente para avaliar a durabilidade é o “ensaio de durabilidade em uso”, uma vez que submete o material às condições reais de exposição e uso. A principal vantagem deste ensaio é a utilização do material em suas condições reais de aplicação, considerando, por exemplo, a fixação, interação com outros sistemas, etc., entretanto requer um longo período de tempo para obtenção dos resultados.

O ensaio de durabilidade natural, também é considerado um ensaio lento, necessitando de um longo período de exposição aos agentes de degradação. Sua principal vantagem a proximidade das condições de uso do material, já este é submetido às condições que será exposto durante o uso.

Finalmente, o ensaio de durabilidade acelerada consiste em simular o mais próximo possível, as condições às quais o material estará exposto durante o uso, mediante a variação de temperatura e umidade relativa no ambiente. Através dos ciclos de molhagem e secagem é reproduzido um ambiente favorável ao transporte através dos poros dos corpos de prova, dos sulfatos e materiais cimentantes. A vantagem deste ensaio é a rapidez com que são obtidos os resultados, podendo avaliar em pouco tempo o comportamento do material (FARIAS FILHO, 2007)

O ensaio de durabilidade acelerado se baseia na simulação das condições de exposição do material com alta intensidade aos agentes de degradação. Apesar de suas vantagens, este ensaio pode fornecer respostas imprecisas, em função dos mecanismos paralelos ocorridos. Segundo Farias Filho (2007) a simulação da degradação de materiais de construção convencionais ou não-convencionais pode ser realizada através da carbonatação acelerada do material e do uso de ciclos de molhagem e secagem do material.

No Brasil o ensaio de durabilidade por ciclos de molhagem e secagem para solo-cimento é regulamentada pela ABNT NBR 13554/96. Esta norma descreve a metodologia necessária para a determinação de perda de massa, variação de umidade e variação de volume produzidos, em corpos de prova de solo-cimento, ao serem submetidos aos ciclos de molhagem e secagem.

A escolha do critério para medida da durabilidade envolve certa complexidade. A comparação do solo-cimento com materiais convencionais tais como, blocos e tijolos maciços cerâmicos, mostrou que, mesmo os melhores resultados de durabilidade das misturas de solo-cimento ensaiadas foram inferiores aos valores medidos para os materiais tradicionais. Entretanto este fato apenas realçou as excelentes qualidades de durabilidade dos materiais convencionais, mas, de modo algum, serviu para inviabilizar o uso do solo estabilizado (ANTUNES, 2008).

De acordo com norma ABNT NBR 13553/96 a variação de volume, após o sexto ciclo do ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, deve ser igual ou inferior a 1% e a perda de massa não deve ser superior aos seguintes limites:

- solos A-1-b, A-2-4, A-2-5.....14%;
- solos A-2-6, A-2-7, A-4, A-5.....10%;
- solos A-6, A-7..... 7%;

Os materiais que atenderem aos requisitos desta norma devem ser aceitos; caso contrário, devem ser rejeitados. Não parâmetros de comparação para tijolos de solo-cimento.

Conhecer o comportamento das estruturas de solo-cimento ao longo de tempo é indispensável para sua larga aceitação e utilização, em especial quando da incorporação de resíduos.



## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 MATERIAIS

#### 3.1.1 Resíduo de granito (RG).

O resíduo de granito utilizado foi proveniente da indústria GRANFUGI/SA situada no distrito industrial de Campina Grande-PB. O resíduo era constituído basicamente de água, cal moída, granalha e pó de granito. O resíduo em forma de lama abrasiva (que se forma na serragem dos blocos, em forma de polpa, após passar pelo filtro prensa) foi exposto ao ar em temperatura ambiente para secagem natural durante sete dias. Uma vez seco o material, já de fácil desagregação, foi peneirado por vias secas em peneira ABNT nº 80 (0,084mm). O resíduo pronto para o uso apresentou cor acinzentada e textura fina como mostra a Figura 3.1.



Figura 3.1: Lama abrasiva proveniente da GRANFUJI/AS.

#### 3.1.2 Solo

Foi utilizado um solo argiloso proveniente do município de Lagoa Seca – PB (Fig. 3.2), classificação A-2-4, segundo a AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) e classificação CS de acordo com a Classificação Unificada dos Solos ou *The Unified Soil Classification System*

(USCS). Antes de utilizado o solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em peneira ABNT Nº 4 (4,8mm).



Figura 3.2. Solo empregado na fabricação dos tijolos.

### 3.1.3 Cimento Portland

Foi utilizado o cimento Portland, marca Zebu, composto com Filer, CII-F-32, facilmente encontrado no comércio local e que apresenta características compatíveis para elaboração de tijolos modulares de solo-cimento. As características químicas, físicas e mecânicas do cimento empregado estão listadas nos Quadros 3.1 e 3.2 respectivamente.

Quadro 3.1.: Propriedades químicas do cimento Portland CP II-F-32

Composto	Método de ensaio	Limites da NBR 11578 (%)	Resultados (%)
Perda ao fogo	NBR 5743/89	≤ 6,5	5,28
SiO <sub>2</sub>	NBR 9203/85	-	18,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NBR 9203/85	-	4,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NBR 9203/85	-	2,04
CaO	NBR 9203/85	-	60,07
MgO	NBR 9203/85	≤ 6,5	5,79
SO <sub>3</sub>	NBR 5747/89	≤ 4,0	2,75
Na <sub>2</sub> O	NBR 5747/89	-	0,10
K <sub>2</sub> O	NBR 5747/89	-	0,80
CO <sub>2</sub>	NBR 11583/90	≤ 5,0	4,23
CaO livre	NBR 7227/90	-	1,51
Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O		-	0,63
Resíduo insolúvel	NBR 5744/89	≤ 2,5	1,66

Fonte: ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland, 1956

Quadro 3.2: Propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CP II-F-32

Propriedades Físicas			
Ensaio físico	Métodos de ensaio	Limites da NBR 11578	Resultados
Finura malha 200 (%)	NBR 11579/91	≤ 12,0	2,60
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 23/98	-	3,05
Área específica (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM 76/98	≥ 2600	3610
Tempo de pega (h:min) início	NBR 11581/91	≥ 1:0	2:10
final		≤ 10:00	3:00
Expansibilidade a quente	NBR 11582/91	≥ 5,0	0,0
Ensaio Mecânicos			
Resistência 3 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 10	24,0
Resistência 7 dias (MPa)	NBR 5747/89	≥ 20	31,2
Resistência 28 dias (MPa)	NBR 5747/89	≥ 32	38,7

Fonte: ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland, 1956

### 3.1.4 Água

Foi utilizada água potável, fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). A água empregada encontrou-se de acordo com a norma ABNT NBR 10832/89, segundo a qual, a água para a fabricação de solo-cimento deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento.

### 3.2 MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho baseou-se na metodologia apresentada na Figura 3.3.

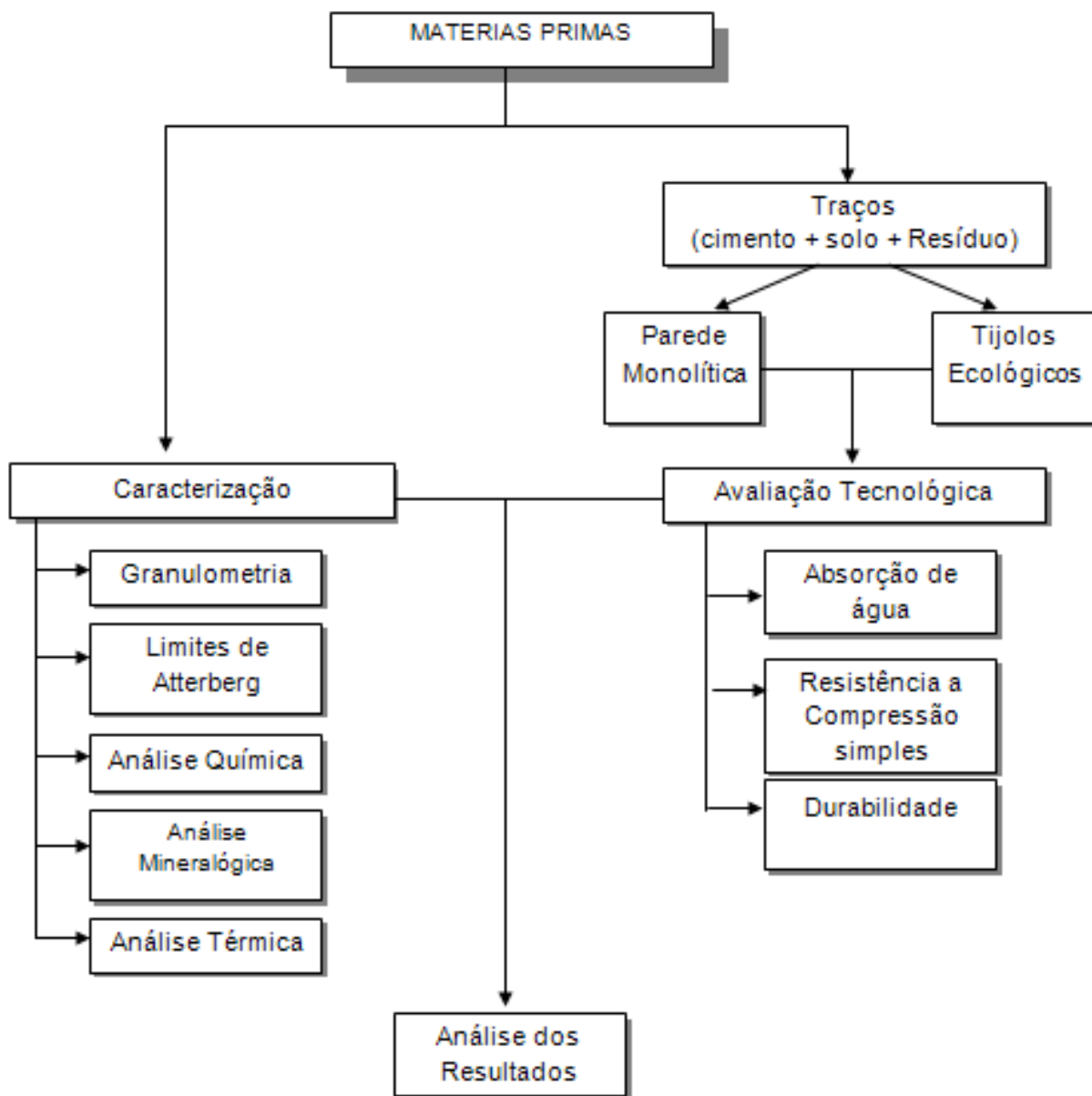


Figura 3.3: Fluxogramas das etapas de desenvolvimento desta pesquisa.

### 3.2.1 Caracterização dos materiais

A caracterização do resíduo granito e do solo empregados neste trabalho foi baseada na distribuição de tamanho de partículas, limites de Atterberg, análise química por fluorescência de raios X, difração de raios X, análise termogravimétrica e termodiferencial. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

#### 3.2.1.1 Estudo da distribuição de tamanho de partículas

O estudo da granulometria do solo e do resíduo de granito foi feito através da dispersão de partículas em fase líquida associado com um processo de medida óptica através de difração de laser. Neste método é combinada a relação proporcional entre a difração do laser e a concentração e tamanho de partículas.

Para a realização desta caracterização o solo foi inicialmente beneficiado em peneira ABNT nº200 (0,074mm), misturado em 250 cm<sup>3</sup> de água destilada em agitador Hamilton Beach N5000a velocidade de 17.000 RPM por 10 min, foi utilizado o dispersante HMFNa. Em seguida a dispersão foi passada para o equipamento modelo 1064 da CILAS (Fig. 3.4), em modo úmido, até atingir a concentração ideal de 150 unidades de difração/área de incidência.



Figura 3.4: Equipamento modelo 1064 da CILAS.

### 3.2.1.2 Caracterização Física do Solo

A caracterização física do solo foi feita a partir das análises dos valores dos limites de liquidez e de plasticidade e estudo da compactação.

A análise dos limites de liquidez e plasticidade é importante porque eles estão diretamente relacionados à trabalhabilidade dos materiais e a variação de volume e absorção de água. Os limites de Atterberg do solo empregado nesta pesquisa foram determinados conforme as metodologias propostas pelas normas ABNT NBR 6459/88 e NBR 7180/84 (Fig.3.5).

O estudo da compactação do solo é útil porque está relacionada ao aumento de sua resistência, diminuição da permeabilidade e da absorção de água. A partir do ensaio de compactação é possível obter a relação entre peso específico seco máximo e umidade ótima de compactação. O ensaio de compactação foi realizado conforme recomendação da norma ABNT NBR 7182/86 utilizando energia Próctor normal (Fig. 3.6).

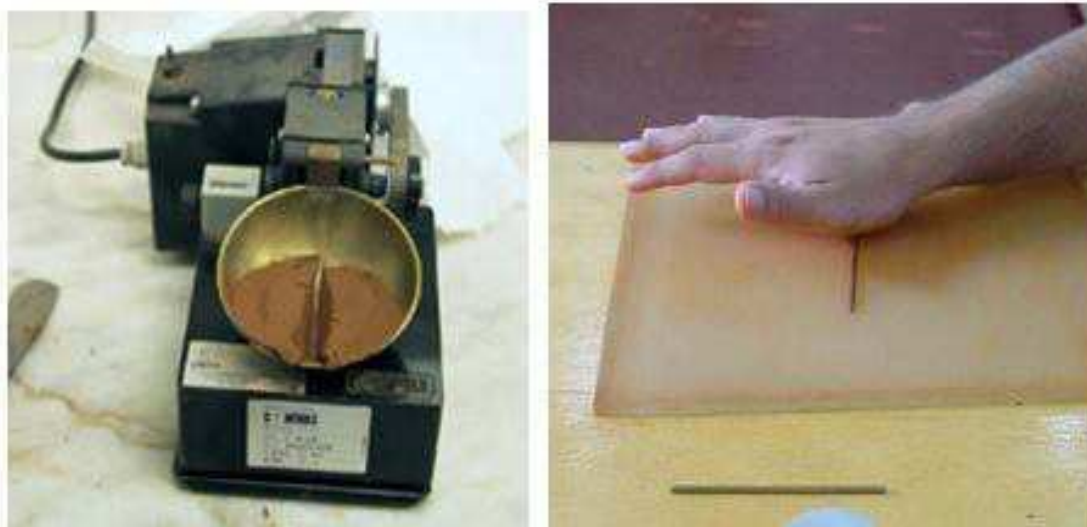


Figura 3.5: Determinação dos limites de liquidez e plasticidade.



Figura 3.6: Ensaio de compactação.

### 3.2.1.3 Análise química

A análise química da matéria prima utilizada para fabricação de tijolos ecológicos é de grande importância tanto industrial como científica, embora não permita uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas.

Os principais componentes analisados foram  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . As amostra de solo e resíduo de granito foram submetidas à espectrografia de energia dispersiva de raios X, em equipamento EDX 700da marca Shimadzu.

### 3.2.1.4 Difração de raios - X

Para análise mineralógica as amostras de solo e resíduo de granito foram primeiramente beneficiadas em peneira ABNT nº 200 (0,076mm) e acondicionadas em porta amostras de alumínio para análise por difração de raio X, em equipamento XRD 6000 da Shimadzu (Fig. 3.7). A radiação aplicada foi a  $\text{K}\alpha$  do Cu (40,0 kV/ 30mA). A velocidade do goniômetro foi de  $0,02^\circ$  para  $2\theta$  por passo, com tempo de contagem de 1,0 segundo por passo.



Figura 3.7: Equipamento XRD 6000 da Shimadzu para difração de raios-X.

### 3.2.1.5 Análise térmica diferencial e termogravimétrica

As análises termogravimétrica (TG) e termodiferencial (ATD) indicam as faixas de temperaturas onde ocorrem as perdas de massas e as temperaturas em que ocorrem transformações endo e exotérmicas. As curvas térmicas foram obtidas através de um aparelho de análises térmicas modelo RB-3000 da BP Engenharia (Fig. 3.8), com razão de aquecimento  $12,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . A temperatura máxima para ambos os casos foi de  $1000^{\circ}\text{C}$  e o padrão utilizado na ATD foi óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) calcinado.



Figura 3.8: Analisador térmico RB 3000.



### 3.2.2 Moldagem dos corpos-de-prova e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito

#### 3.2.2.1 Parede monolítica de solo-cimento

A avaliação da durabilidade de paredes monolíticas de solo-cimento incorporadas com resíduo de serragem de granito se deu a partir do estudo com corpos-de-prova cilíndrico. Com base no trabalho de Neves (2002), foi estabelecidos o traço de 1:10 onde a proporção representa cimento: solo + resíduo de granito. O traço foi estudado com 30%, 40% e 50% de resíduo de granito na mistura solo + resíduo de granito, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Teores de solo e resíduo de granito na fração “solo + resíduo de granito” do traço utilizados na moldagem dos corpos-de-prova

Composição	Traço 1:10
Cimento + 70 % solo + 30% de resíduo de granito	
Cimento + 60 % solo + 40% de resíduo de granito	
Cimento + 50 % solo + 50% de resíduo de granito	

Os corpos-de-prova foram moldados no cilindro Próctor ( $\phi = 50\text{mm}$  e  $h = 100\text{ mm}$ ), de acordo com a norma ABNT NBR 12024/92 (Fig. 3.9). O fator água/cimento estabelecido foi de 1,5 com base na umidade ótima. Após a moldagem, os corpos-de-prova permaneceram em câmara úmida por 28 dias.



Figura 3.9: Corpo-de-prova cilíndrico.

### 3.2.2.2 Tijolos ecológicos de solo-cimento

Para avaliar a durabilidade dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo granítico, foram moldados tijolos com diferentes proporções de cimento, com base em Neves (2002) foram adotados os traços 1:9, 1:10 e 1:12 onde a proporção representa cimento: solo + resíduo de granito, cada traço foi estudado com 30, 40 e 50% de resíduo de granito como apresentado na Tabela 3.2,

Tabela 3.2: Teores de solo e resíduo de granito na fração “solo + resíduo de granito” do traço utilizados na moldagem

TRAÇO	Composição da porção solo+ resíduo de granito	
1:9	Cimento +	70% de solo + 30% de resíduo
		60% de solo + 40% de resíduo
		50% de solo + 50% de resíduo
1:10	Cimento +	70% de solo + 30% de resíduo
		60% de solo + 40% de resíduo
		50% de solo + 50% de resíduo
1:12	Cimento +	70% de solo + 30% de resíduo
		60% de solo + 40% de resíduo
		50% de solo + 50% de resíduo

Os tijolos ecológicos foram fabricados com as seguintes dimensões 0,25m de comprimento 0,70m de altura e 0,125m de largura, utilizando prensa Modular SAHARA (Fig.3.10) de acordo com a norma ABNT NBR 10832/89.



Figura 3.10: Prensa manual modular SAHARA, Desmoldagem de Tijolo de solo-cimento com resíduo granítico.

Durante a preparação da massa foram tomadas as devidas precauções, cuidando-se para que esta fosse utilizada no período máximo de 30 min, evitou-se ainda a exposição ao sol e ao vento a fim de minimizar a evaporação da água na mistura, uma vez que a falta de água traz consideráveis prejuízos a hidratação dos grãos de cimento e conseqüentemente ao ganho de resistência à compressão ao longo do tempo. Após moldagem, os tijolos foram colocados em câmara úmida com temperatura aproximada de 23°C, onde foram constantemente hidratados até o final da cura aos 28 dias (Fig.3.11).



Figura 3.11: Cura dos tijolos.

### 3.2.3 Ensaio Tecnológicos

A avaliação tecnológica dos corpos-de-prova cilíndricos e dos tijolos ecológicos baseou-se na absorção de água, resistência a compressão simples e durabilidade cujas metodologias estão apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Ensaio tecnológicos

Ensaio	Paredes monolíticas	Tijolos ecológicos
Resistência à compressão simples	NBR 12025/92	NBR 8492/84
Absorção de água	NBR 10836/94	NBR 10836/94
Durabilidade por ciclos de molhagem e secagem	NBR 13554/96	NBR 13554/96

### 3.2.3.1 Absorção de água

O valor da absorção de água indica grau de porosidade do material, quanto menor a absorção de água, menor a porosidade, conseqüentemente maior a sua resistência. A determinação da absorção de água foi feita conforme a metodologia recomendada pela norma ABNT NBR 10836/94. Inicialmente as amostras foram colocados por 24h em estufa a 110°C e pesadas ( $M_s$ ) em balança digital de precisão de 0,1g com capacidade para 2.000 g, em seguida foram imersas por 24h em água e pesados novamente ( $M_h$ ), como mostra a Figura 3.12.



Figura 3.12: Pesagem dos tijolos em balança digital de precisão de 0,1g.

Para calcular o teor de absorção de água foi utilizada a equação 3.1

Eq. (3.1)

Onde:

A (%) = Teor de absorção de água (em %)

$M_h$  = Massa do corpo de prova úmido (em g)

$M_s$  = Massa do corpo de prova seco (em g)

### 3.2.3.2 Resistência à compressão simples

A determinação da resistência à compressão simples foi feita conforme as metodologias propostas na norma ABNT NBR 12025/92, para paredes monolíticas e NBR 8492/84 para tijolos prensados. Nesta última foram feitas algumas adaptações visto que a ABNT NBR 8492/84 se refere a tijolos maciços de solo-cimento. Os tijolos foram serrados ao meio a fim de favorecer a simetria necessária ao ensaio, em seguida as faces foram capeadas com espátula para obter superfícies planas, as duas metades dos tijolos foram sobrepostas e colocadas na prensa de modo que o seu centro de gravidade estivesse no eixo de carga da prensa (Shimazu 100KN ASG) a velocidade do ensaio foi de 0,5 Kgf/s (Fig. 3.13).



Figura 3.13: Ensaio de resistência a compressão simples em tijolo e corpo-de-prova cilíndrico solo-cimento.

### 3.2.3.3 Durabilidade

A análise da durabilidade é útil porque avalia o comportamento do material após ser submetido às condições de desgaste. O estudo da durabilidade no presente trabalho foi baseado no método de envelhecimento acelerado descrito

na norma ABNT NBR 13554/96. Foram analisadas duas adaptações a esta norma, para paredes monolíticas de solo-cimento e para tijolos de solo-cimento respectivamente.

#### A) Para paredes monolíticas de solo-cimento

O ensaio foi composto por de seis ciclos de molhagem e secagem. Os ciclos tiveram início aos 28 dias de cura. As amostras foram divididas em dois grupos, onde um grupo foi submetido à escovação, ao final de cada ciclo e outro não. Foi determinada a resistência a compressão simples das amostras de ambos os grupos ao fim de cada ciclo, a Figura 3.14 apresenta as etapas de cada ciclo.

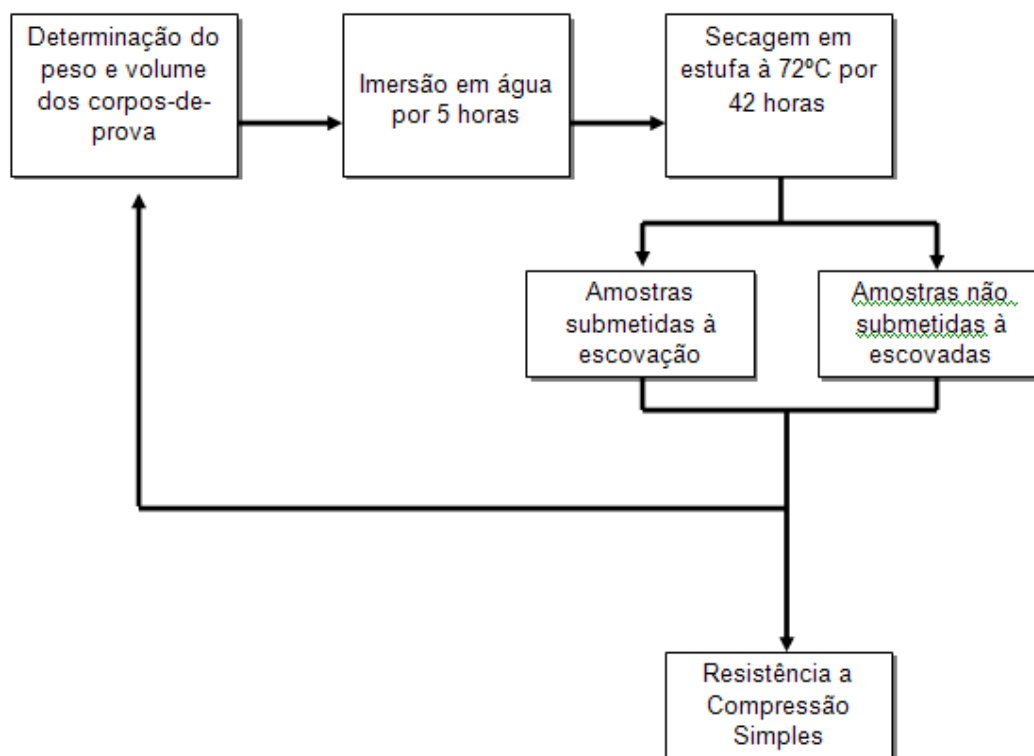


Figura 3.14: Etapas de um ciclo de molhagem e secagem para estudo da durabilidade para paredes monolíticas.

## B) Para tijolos de solo-cimento

O ensaio foi executado em seis ciclos de molhagem e secagem. Os ciclos iniciaram sete dias após a moldagem dos tijolos, conforme recomenda a norma ABNT NBR 13554/96 e encerraram aos 28 dias de cura.

Inicialmente foram determinados o volume e a massa dos tijolos. Em seguida as amostras foram imersas em água por 5 horas e depois deixadas expostas para secagem ao ar por 24 horas antes de serem colocadas em estufa a 72°C por 24 horas. Depois de secos os tijolos foram escovados com escova de aço. Essas etapas se repetiram ao longo dos seis ciclos. Ao final do sexto ciclo (28 dias após a moldagem dos tijolos), foi determinada a resistência a compressão simples (RCS) dos tijolos escovados. A Figura 3.15 apresenta o fluxograma de um ciclo de molhagem e secagem.

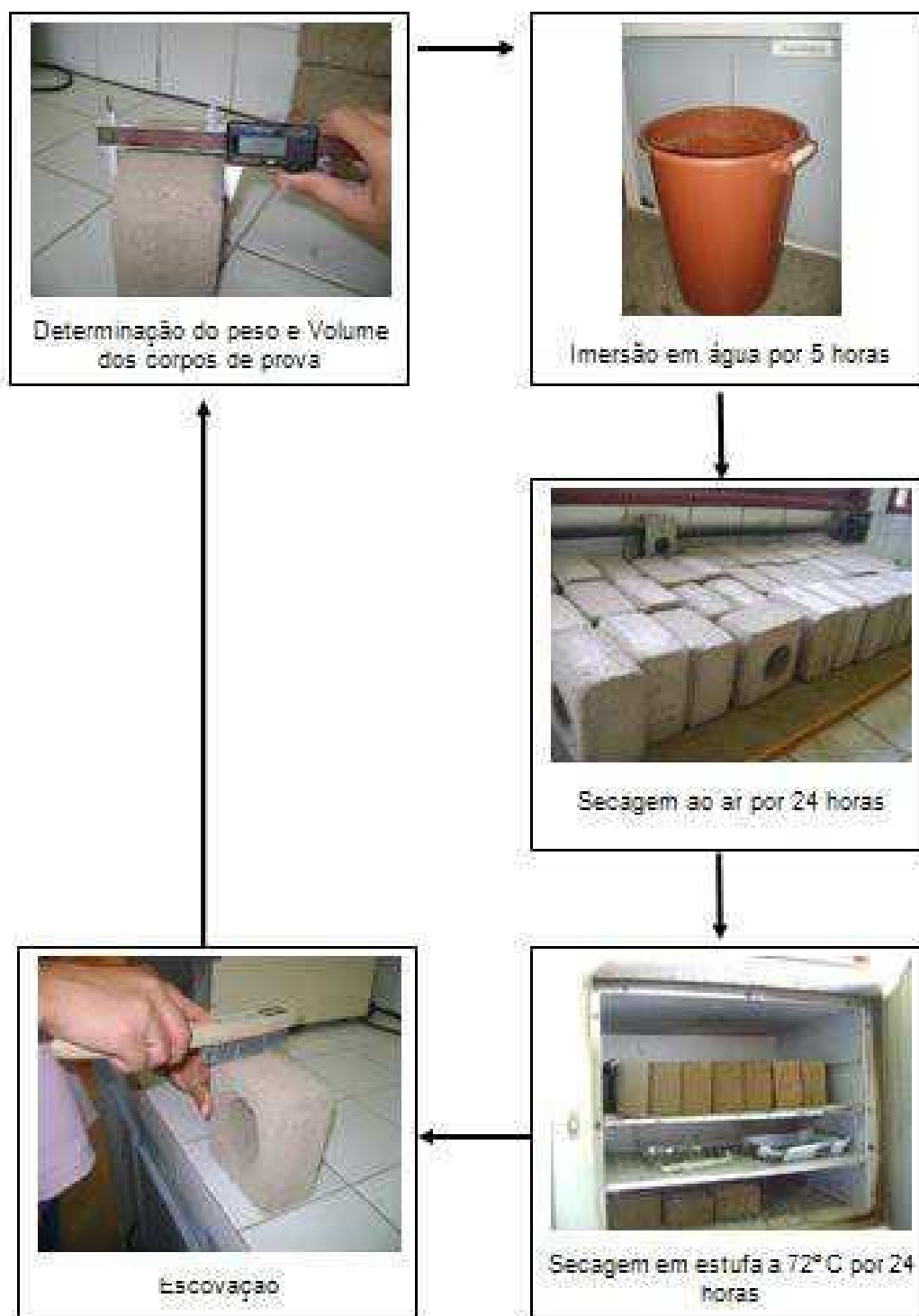


Figura 3.15: Etapas de um ciclo de molhagem e secagem para estudo de durabilidade para tijolos ecológicos.



### C) Calculo da perda de massa e variação de volume

Para calcular a perda de massa das amostras tanto dos tijolos ecológicos quanto dos corpos-de-prova cilíndricos final do sexto ciclo de molhagem e secagem foi necessário obter a quantidade relativa de água nas amostras destinadas a avaliação da variação do volume e utilizou-se as equação (3.2):

$$A_n = \frac{(M_f - M_i)}{M_i} \times 100 \quad \text{Eq. (3.2)}$$

Onde:

$A_n$  = Água retida nas amostras, em %

$M_f$  = massa seca final das amostras após atingir massa constante, em g

$M_i$  = massa seca inicial calculada por ocasião da moldagem, em g

A água retida ( $A_n$ ) foi obtida pela media das medias de três amostras. Para corrigir as massas secas das amostras selecionadas para a obtenção da perda de massa teve-se que descontar a água que reagiu com o cimento durante o ensaio e que ficou retida na amostra, conforme a equação (3.3):

$$M_{fc} = \frac{M_f}{(A + 1,00)} \quad \text{Eq. (3.3)}$$

Onde:

$M_{fc}$  = massa seca final corrigida das amostras, em g

$M_f$  = massa seca final das amostras após atingir massa constante, em g

$A$  = água retida nas amostras

Para o calculo da perda de massa das amostras como porcentagem da massa seca inicial utilizou-se equação (3.4).

$$P_m = \frac{(M_i - M_{fc})}{M_i} \times 100 \quad \text{Eq. (3.4)}$$

Onde:

$P_m$  = Perda de massa do corpo-de-prova, em %

$M_{fc}$  = massa final corrigida do corpo-de-prova, em g

$M_i$  = massa inicial calculada por ocasião da moldagem do corpo-de-prova, em g

A perda de massa de cada composição foi obtida pela média de três amostras.

Para calcular a variação de volume ao final de cada etapa foi utilizada a equação (3.5)

$$V_{v,n} = \frac{(V_i - V_n)}{V_i} \times 100 \quad \text{Eq. (3.5)}$$

Onde:

$V_{v,n}$  = Variação de volume das amostras em cada etapa, em %

$V_i$  = Volume inicial das amostras, em  $\text{mm}^2$

$V_n$  = Volume das amostras em cada etapa, em  $\text{mm}^2$

A variação de volume de cada composição foi obtida pela média das medidas de três amostras.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA-MINERALÓGICA

As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam as curvas de distribuição granulométrica acumulada do solo e do resíduo de granito.

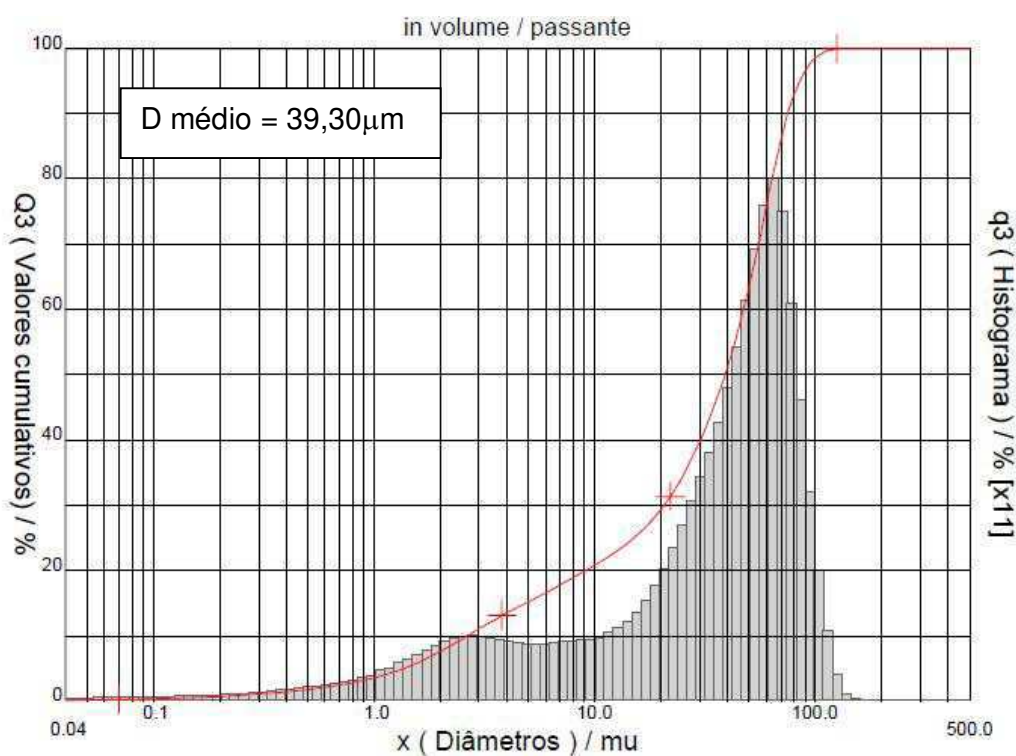


Figura 4.1: Distribuição granulométrica acumulada do solo.

Analisando a Figura 4.1, observou-se que a curva apresentou comportamento bimodal com picos em  $2,5 \mu\text{m}$  e  $80 \mu\text{m}$  e larga distribuição de tamanho de partículas, com  $D_{10}$  de  $2,65 \mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de  $39,05 \mu\text{m}$ ,  $D_{90}$  de  $75,17 \mu\text{m}$  e diâmetro médio de  $39,30 \mu\text{m}$ . O solo apresentou valores de massa acumulada de 7,61% equivalente a fração argila ( $< 2 \mu\text{m}$ ); 68,11% equivalente a fração silte ( $2\mu\text{m} < X < 60\mu\text{m}$ ) e 31,89% equivalente a fração areia ( $60\mu\text{m} < X < 2000\mu\text{m}$ ). A

fração de argila do solo estudado está de acordo com o parâmetro sugerido pelo ICPA (1973, *apud* SEGANTINI, 2000) que varia entre 5 e 10%, já a fração de silte foi superior 20% ao limite máximo. A porcentagem de areia no solo aproximou-se ao valor mínimo indicado pelo MAC (1975, *apud* SEGANTINI) que é de 40%.

As porcentagens que passam nas peneiras ABNT N<sup>o</sup> 200 (0,075 mm) e N<sup>o</sup> 4 (4,8 mm) foram respectivamente 18,42% e 100% esses valores estão de acordo com as especificações da norma ABNT NBR 10832/89.

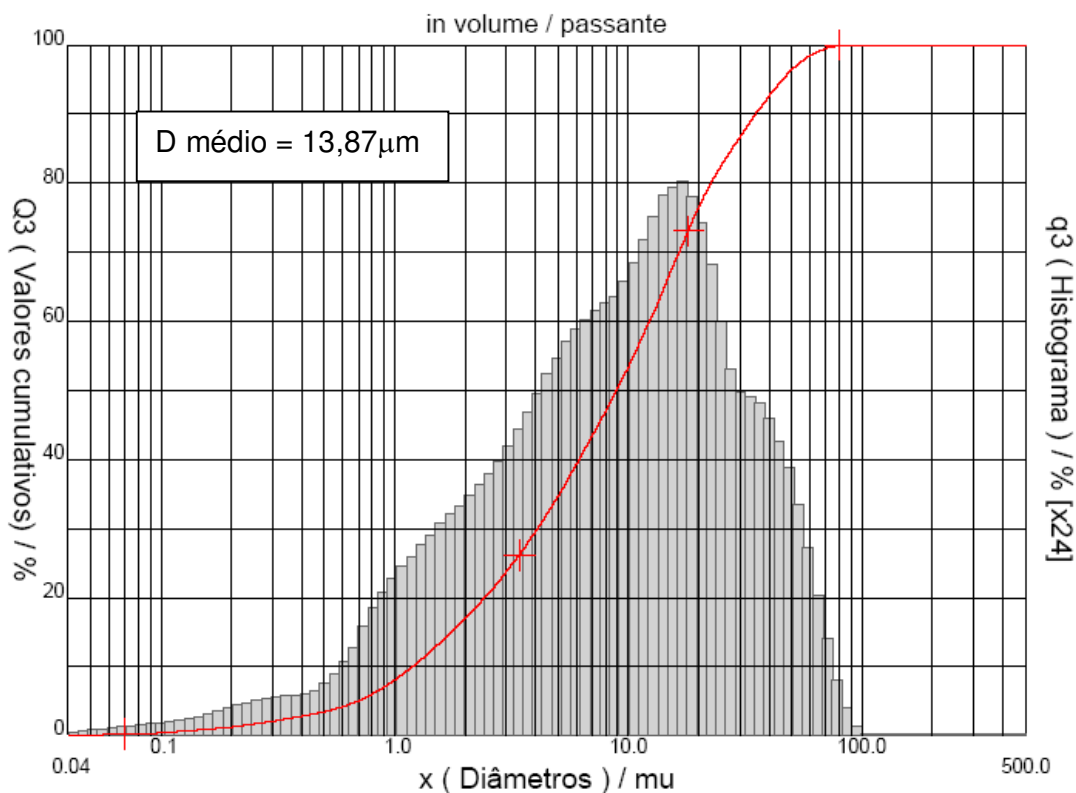


Figura 4.2: Distribuição granulométrica acumulada do resíduo de granito.

Analisando a Figura 4.2 verificou-se que a curva de distribuição de tamanho de partículas do resíduo de granito utilizado nesta pesquisa apresentou comportamento monomodal com pico em 80  $\mu\text{m}$  e média distribuição de tamanho de partículas, com  $D_{10}$  de 1,19 $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 8,89 $\mu\text{m}$ ,  $D_{90}$  de 35,02 $\mu\text{m}$  e diâmetro médio de 13,87 $\mu\text{m}$ . O resíduo apresentou valores de massa acumulada de 16,93% equivalente a fração argila (< 2 $\mu\text{m}$ ); 81,61% equivalente a fração silte

( $2\mu\text{m} < X < 60\mu\text{m}$ ) e 18,39% equivalente a fração areia ( $60\mu\text{m} < X < 2000\mu\text{m}$ ). Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Farias Filho (2007).

Foi observado ainda, que o resíduo apresentou porcentagem menor que 53,0% de massa acumulada para um diâmetro médio equivalente inferior a  $10\mu\text{m}$ , estando, assim, dentro da faixa de valores da distribuição de tamanho de partículas dos resíduos de granito estudados por NEVES (2002).

Na Tabela 4.1 está apresentado as características do solo e do resíduo granítico utilizados na presente pesquisa, em relação a distribuição de tamanho das partículas e porcentagem de material argiloso, silteoso e arenoso segundo a norma da ABNT 6502/95.

Tabela 4.1: Distribuição de tamanho das partículas

Material	Solo	Resíduo de Granito
D <sub>10</sub> (%)	2,65	1,19
D <sub>50</sub> (%)	39,05	8,89
D <sub>90</sub> (%)	75,17	35,02
Diâmetro Médio ( $\mu\text{m}$ )	39,30	13,87
Fração argila (%)	7,61	16,93
Fração silte (%)	68,11	81,61
Fração areia (%)	31,89	18,39

A Tabela 4.2 apresenta os resultados dos índices de Atterberg e atividade coloidal do solo estudado.

Tabela 4.2: Índices de Atterberg e atividade coloidal do solo estudado

Material	Solo
Limite de Liquidez (%)	20,8
Limite de Plasticidade (%)	12,6
Índice de Plasticidade (%)	8,2
Índice de Atividade Coloidal	1,08

Analisando os resultados da Tabela 4.2 verificou-se que o solo apresentou limite de liquidez (LL) igual a 20,8% e limite de plasticidade (LP) igual a 12,6%, e índice de plasticidade (IP) de 8,2%, sendo classificado segundo Caputo (1998) como solo medianamente plástico ( $7 < IP \leq 15$ ). Os valores dos limites de liquidez e plasticidade obtidos foram inferiores aos limites máximos de 45 e 18% respectivamente estabelecidos pelas normas NBR 10832/89 e NBR 13553/96 referentes à fabricação de tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento.

Segundo Rojas (2008), a atividade da fração argila do solo pode ser determinada a partir do índice de atividade coloidal proposto por Skempton (*apud*, ROJAS, 2007). O índice coloidal do solo se refere a atividade da fração argilosa, ou seja, avalia o potencial da argila conferir plasticidade e coesão ao solo. Este parâmetro pode ser obtido através da relação entre o IP e a porcentagem de solo inferior a  $2\mu\text{m}$  (fração argila). O solo estudado apresentou um índice de atividade coloidal de 1,08 o qual classifica a argila como ativa.

Com base nos valores das Tabelas 4.1 e 4.2 o solo foi classificado como A-2-4, segundo a classificação AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), que representa os solos com predominância de silte ou argila arenosa e que são considerados excelentes para sub-base em pavimentos. Segundo a Classificação Unificada dos Solos ou *The Unified Soil Classification System* (USCS), o solo foi classificado como SC, ou seja, areia argilosa, como apreciável quantidade de finos plásticos.

O ensaio de compactação com energia Proctor normal foi realizado para determinar a umidade ótima e o peso específico máximo seco de compactação, os quais foram utilizados como parâmetros para a moldagem dos corpos-de-prova e dos tijolos de solo-cimento. A Figura 4.3 apresenta a curva de compactação do solo estudado.

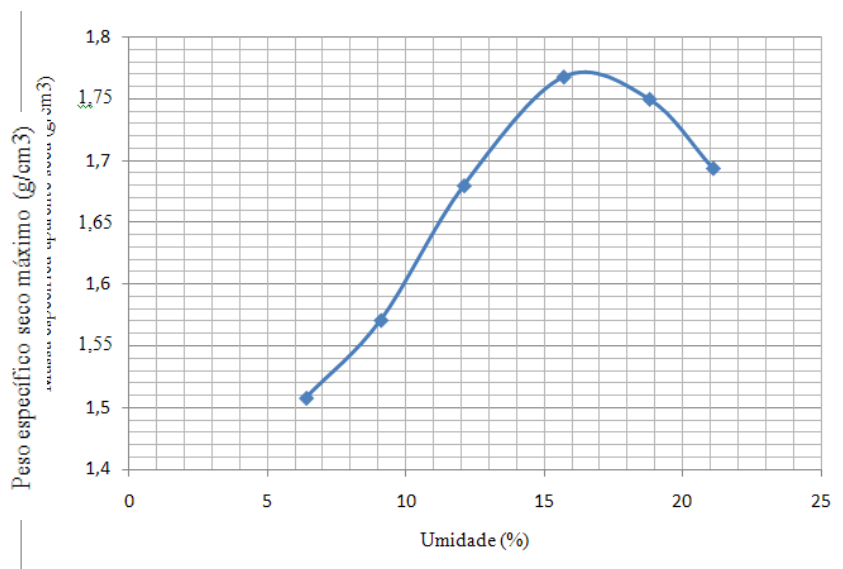


Figura 4.3: Curva de compactação do solo.

Analisando o gráfico da Figura 4.3 foi observado que o solo apresentou umidade ótima igual a 15,9%, este valor foi utilizado para determinar o fator água-cimento de 1,5 para a moldagem dos corpos-de-prova e tijolos de solo-cimento. O massa específica seca máxima foi de 1,77g/cm<sup>3</sup>. Souza (2006) encontrou valores semelhantes para a umidade ótima e massa específica seca máxima e considerou o solo apropriado para uso em tijolos de solo-cimento.

Na Tabela 4.3 estão apresentadas as composições químicas do solo e do resíduo de granito.

Tabela 4.3: Composição química dos solos e resíduo de granito.

Determinações (%)	Solo	Resíduo de Granito
SiO <sub>2</sub>	53,16	59,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,99	16,46
K <sub>2</sub> O	1,07	4,16
MgO	0,97	2,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,61	6,58
CaO	0,35	6,14
Na <sub>2</sub> O	-	2,32
TiO <sub>2</sub>	1,56	-
Outros Óxidos	0,29	1,96

Com base nos valores da Tabela 4.3 verificou-se que a composição química do solo apresentou elevados teores de sílica (53,16%), alumina (35,99%) e óxido de ferro (6,61%) totalizando cerca de 96% da composição total. O óxido de magnésio representou menos de 1%. A sílica e a alumina foram provavelmente provenientes da fração argilosa, feldspato e sílica livre. O  $K_2O$  (1,7%) e o  $CaO$  foram provenientes da mica e do carbonato de cálcio respectivamente. A presença de  $Fe_2O_3$  (6,61%) foi responsável pela cor avermelhada do solo.

Os valores da Tabela 4.3 evidenciaram ainda que o resíduo de granito pode ser classificado como sílico-aluminoso, devido o elevado teor de Sílica (59,56%) e teor de alumina de 16,46% e 6,58% de óxido de ferro. Os valores de  $SiO_2$ ,  $Al_2O_2$  e  $Fe_2O_3$  totalizaram cerca de 83% superando assim, o valor mínimo de 70% exigido pela ASTM C618 (2005) indicando assim que o resíduo granítico estudado tem provavelmente atividade pozolânica. O percentual de  $MgO$  (2,82%) esteve também abaixo do valor máximo de 5% sugerido pela ASTM C618 (2006).

O óxido de cálcio ( $CaO$ ) e óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) presentes na lama granítica foram oriundos principalmente da granalha, utilizada como abrasivo e da cal utilizada como lubrificante no processo de beneficiamento do granito. Os óxidos de sódio ( $Na_2O$ ) e de potássio ( $K_2O$ ) presentes foram provavelmente oriundos do feldspato e da mica, principais minerais componentes do granito. Farias Filho (2007) e Silva et al. (2005) encontraram valores semelhantes e constataram a predominância de sílica e alumina na composição química do resíduo de serragem de granito.

As Figuras 4.4 e 4.5 apresentam respectivamente os difratogramas do solo e do resíduo de granito empregados na pesquisa.



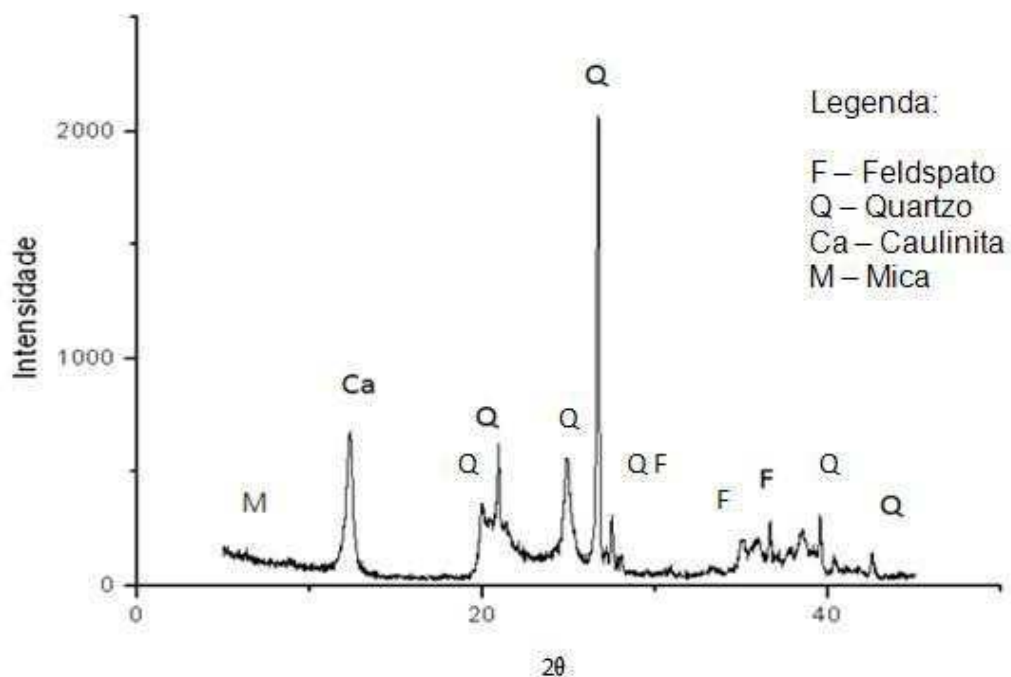


Figura 4.4: Raios X do solo estudado na pesquisa

Observando o difratograma da Figura 4.4 verificou-se no solo a presença de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å, feldspato potássio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), caracterizado por 4,24 Å e 3,20 Å, feldspato sódico ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), caracterizado por 4,03 Å e 3,19 Å, mica caracterizada por 10,04 Å e menor quantidade de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), caracterizado por 3,03 Å e 2,13 Å. Esses resultados estão de acordo com a composição química da Tabela 4.3.

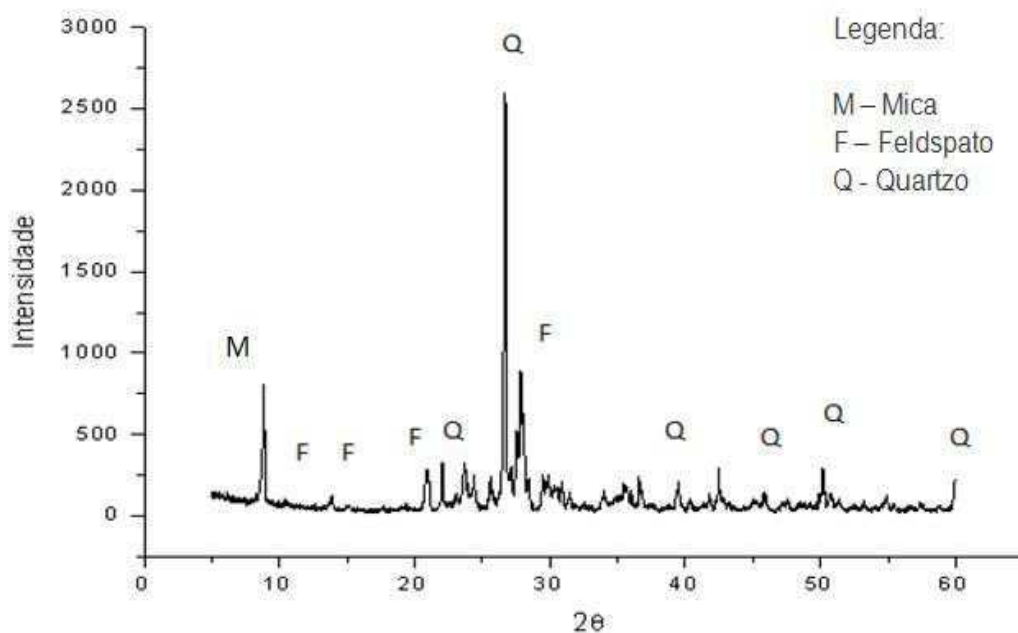


Figura 4.5: Raios X do resíduo de granito estudado na pesquisa

O difratograma do resíduo granito apresentado na Figura 4.5 evidenciou as seguintes fases mineralógicas: quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å, feldspato potássio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), caracterizado por 4,24 Å e 3,20 Å, feldspato sódico ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), caracterizado por 4,03 Å e 3,19 Å e menor quantidade de mica muscovita caracterizada por 10,04 Å. Estes resultados estão em conformidade com a composição química apresentada na Tabela 4.3. Neves (2002) e Farias Filho (2007) obtiveram valores semelhantes.

Nas Figuras 4.6 e 4.7 estão apresentadas as curvas de análises termogravimétricas e termogravimétricas do resíduo de granito estudado.

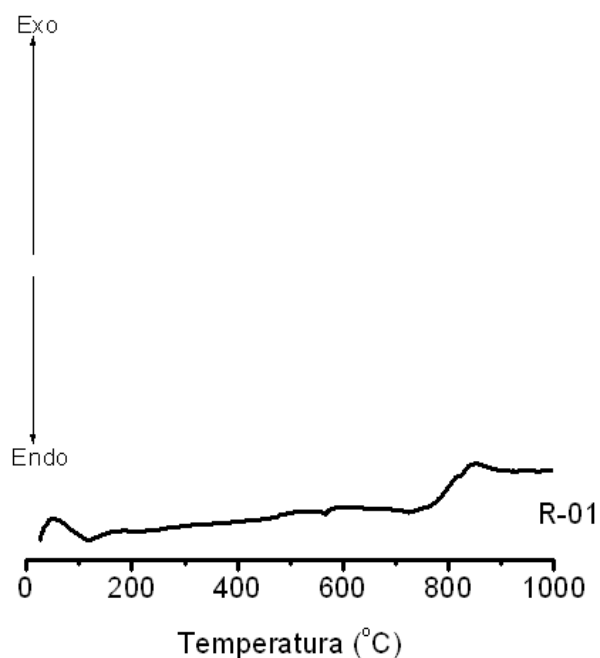


Figura 4.6: Análise térmica diferencial (ATD) do resíduo granítico.

Analisando a curva de ATD da Figura 4.6, verificou-se que o resíduo de granito apresentou pico endotérmico de pequena intensidade a 110°C, caracterizando a presença de água livre; pico endotérmico de pequena intensidade a 556°C, referente à transformação de quartzo alfa em quartzo beta; pico endotérmico de pequena intensidade correspondente à perda de hidroxilas da mica a 740°C; pico endotérmico de pequena intensidade correspondente a recristalização da mica a 780°C e pico endotérmico de pequena intensidade indicando a decomposição do carbonato de cálcio à 820°C. Este mesmo comportamento foi verificado por Neves (2002), cuja pesquisa baseou-se no mesmo tipo resíduo.

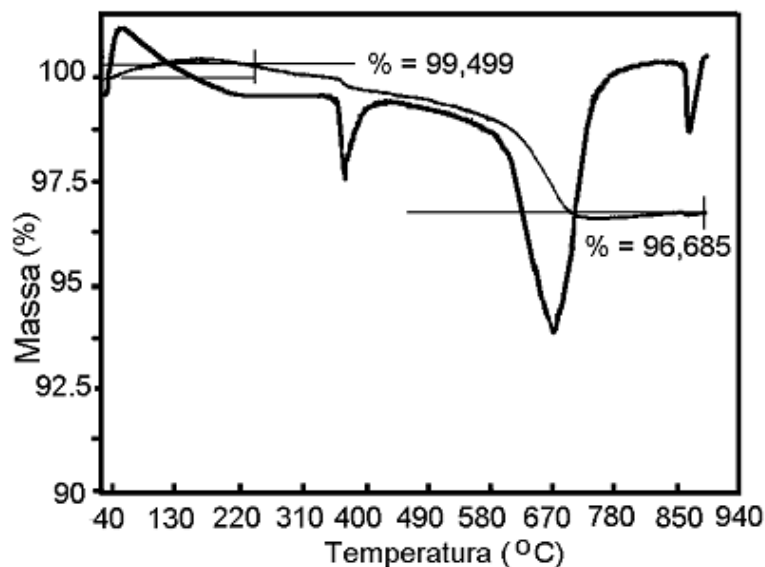


Figura 4.7: Análise termogravimétrica (ATG) do resíduo de granito.

Analisando a curva de ATG da Figura 4.7, foi verificado pequena perda de massa (0,03%) entre 60 e 262°C, correspondente à perda de água livre e adsorvida; perda de massa (0,50%) entre 262 e 516°C correspondente à perda de hidroxilas da mica; perda de massa (3,31%) entre 516 e 850°C correspondente à decomposição do carbonato de cálcio. Resultados semelhantes foram verificados por Neves (2002), cuja pesquisa baseou-se no mesmo tipo resíduo.

## 4.2 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

### 4.2.1 Parede monolítica de solo-cimento

A Figura 4.8 apresenta os valores de absorção de água dos corpos-de-prova cilíndricos aos 28 dias de cura para as porcentagens de 30%, 40% e 50% de resíduo granítico (RG) em relação à fração solo + resíduo granítico.

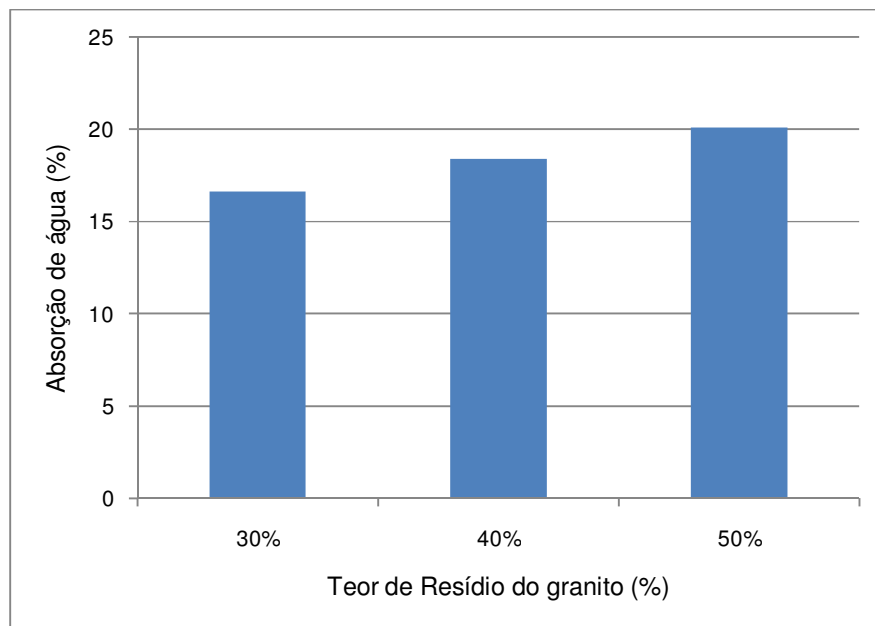


Figura 4.8: Absorção de água dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporado com 30, 40 e 50% de resíduo de granito.

Analisando os valores da Figura 4.8 verificou-se que para as paredes monolíticas de solo-cimento incorporadas com resíduo de serragem de granito os valores de absorção de água se mantiveram abaixo do limite estabelecido pela norma ABNT NBR 13553/96 que é de 20%. Verificou-se também que a absorção de água tende a aumentar com a incorporação do resíduo granítico, Isto pode ser justificado pelo aumento da quantidade de quartzo presente neste resíduo, como mostra a composição química da Tabela 4.3.

Silva et al. (2008) observou um comportamento semelhante para a mistura de solo-cimento e resíduo de EVA, sendo que seus valores permaneceram acima do limite estabelecido pela norma.

As Figuras 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam a resistência à compressão simples dos corpos-de-prova ao longo dos ciclos de molhagem e secagem, para as amostras que foram submetidas à escovação ao final de cada ciclo e as que não foram submetidas a escovação, para os teores de resíduo granítico de 30, 40 e 50% respectivamente.

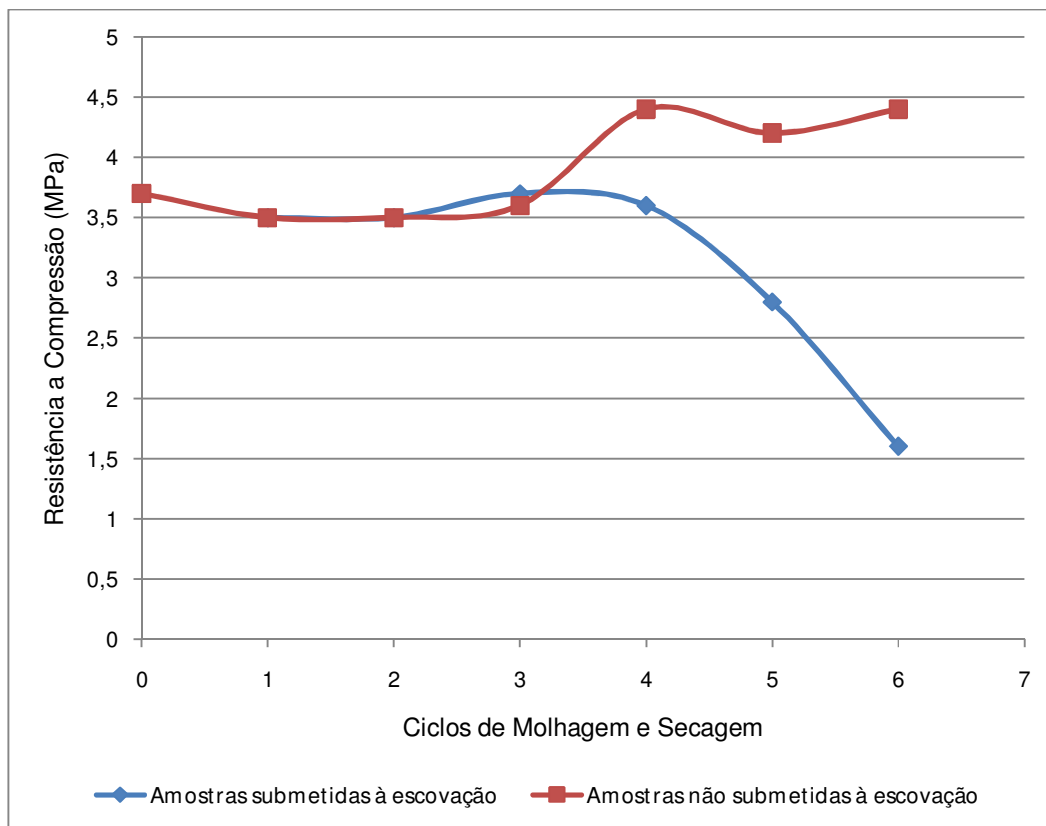


Figura 4.9: Resistência a compressão simples dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporados com 30% de resíduo de granito.

Analisando os valores da Figura 4.9 foi observado que a resistência a compressão simples (RCS) das amostras submetidas à escovação apresentaram um comportamento ascendente até o quarto ciclo de envelhecimento e depois decrescente ao longo dos ciclos restantes, evidenciando o envelhecimento. Já os corpos-de-prova que não foram submetidos à escovação apresentaram valores de resistência à compressão simples inicialmente constante e após o terceiro ciclo, comportamento ascendente.

Para o teor de 30% de resíduo de granito incorporado ao solo-cimento, as amostras escovadas tiveram inicialmente um ganho de resistência devido às condições de ensaio (elevação da umidade e temperatura) que favoreceram as reações de cura (OLIVEIRA et al., 2006), mas após o terceiro ciclo a grande perda de massa que sofreram devido às escovações, levou à diminuição progressiva da resistência à compressão. Esse comportamento evidenciou que o

envelhecimento dos corpos-de-prova submetidos à escovação a partir do terceiro ciclo de molhagem e secagem, ao passo que o envelhecimento dos corpos-de-prova não escovados não foi percebido até o final do ensaio de durabilidade.

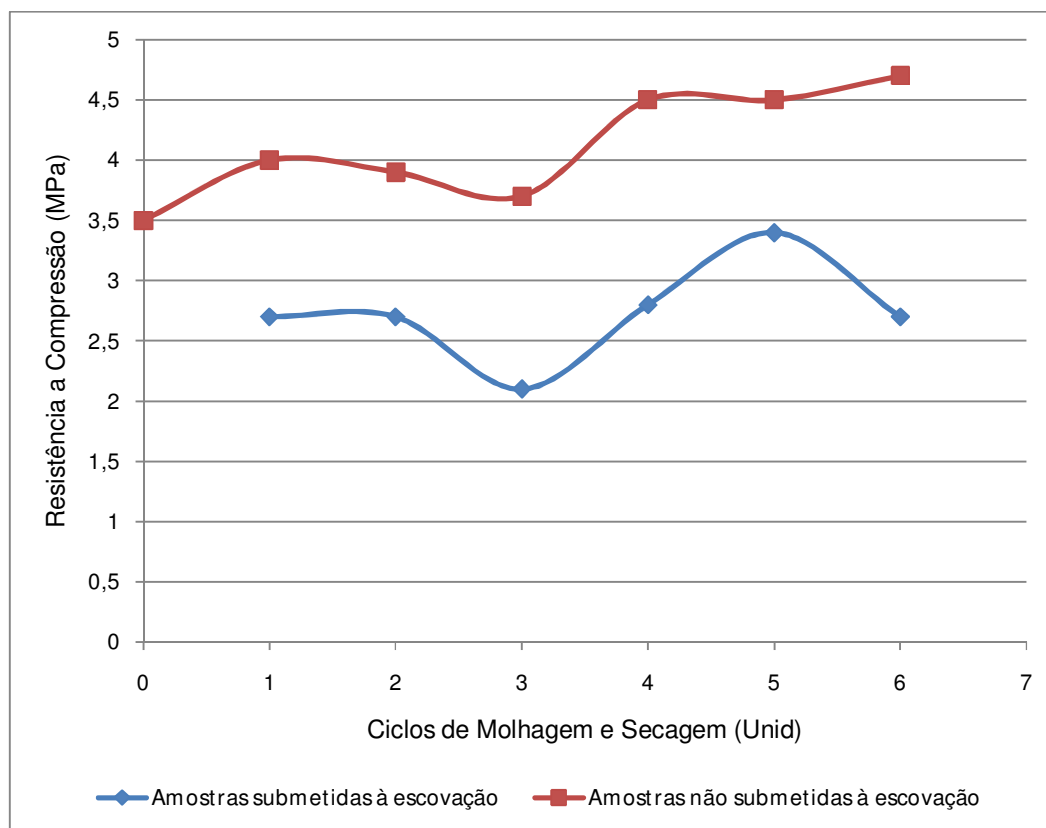


Figura 4.10: Resistência a compressão simples dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporados com 40% de resíduo de granito.

Observando as curvas da Figura 4.10 observou-se para 40% de RG incorporado ao solo-cimento para paredes monolíticas que a resistência à compressão para os corpos-de-prova escovados e os não-escovados apresentaram comportamentos semelhantes. Verificou-se que a resistência a compressão para os corpos-de-prova escovados aumentou até o quinto ciclo, em seguida sofreu decréscimo evidenciando o envelhecimento. Foi observado que as amostras não-escovadas apresentaram valores de RCS em média 30% maiores que os mesmos valores para as amostras sujeitas à escovação.

O efeito final dos ciclos de envelhecimento acelerado sobre os corpos-de-prova só pode ser percebido a partir do quinto ciclo, quando as amostras escovadas apresentaram tendência à perda de resistência, evidenciando o início do envelhecimento e as amostras escovadas tendência oposta, ou seja, ganho de resistência, não evidenciando assim, envelhecimento.

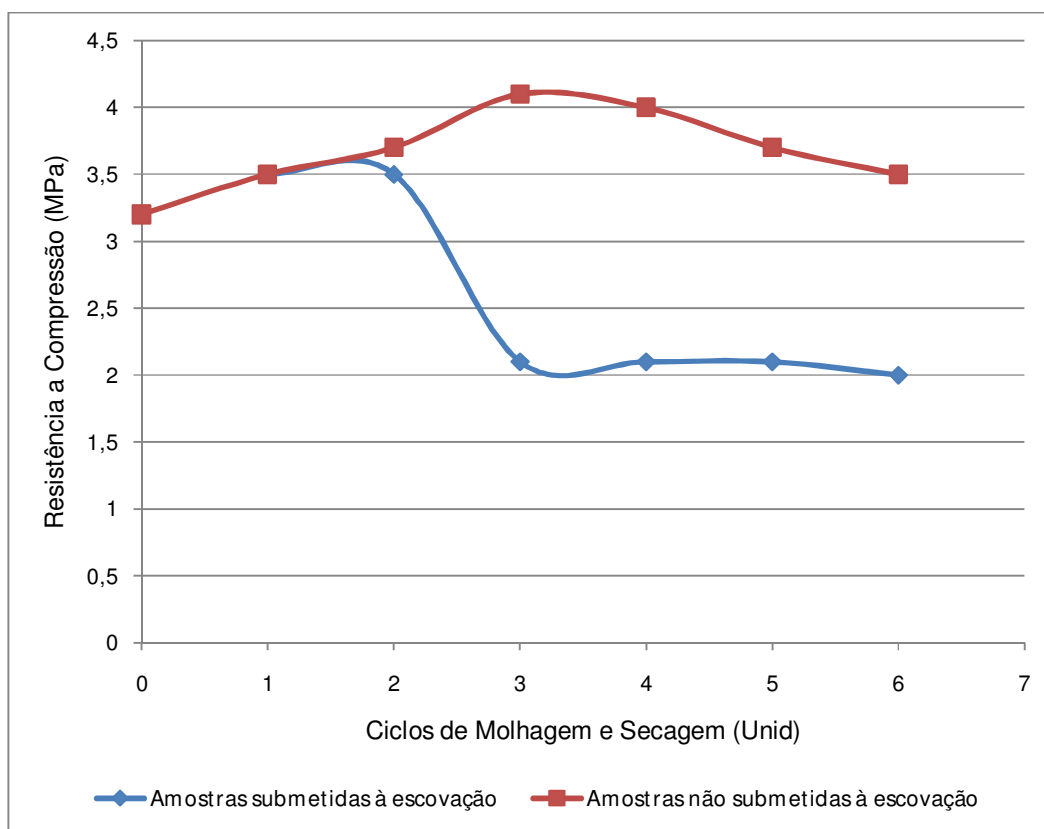


Figura 4.11: Resistência a compressão simples dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporados com 50% de resíduo de granito.

Analisando a Figura 4.11 observou-se que a mistura de solo-cimento incorporado com 50% de resíduo granítico apresentou seguinte comportamento de resistência à compressão simples: Os corpos-de-prova não submetidos à escovação tiveram ganho de resistência na ordem de 22% entre o ciclo zero e terceiro ciclo, experimentando a partir daí uma tendência a diminuição da RCS, evidenciando o envelhecimento. Apesar do envelhecimento, observou-se que a



resistência a compressão permaneceu cerca de 8% superior ao valor obtido no ciclo zero.

Os corpos-de-prova que foram escovados ao longo dos ciclos de molhagem e secagem sofreram um rápido decréscimo de resistência à compressão entre o segundo e terceiro ciclo (40%), em seguida manteve-se aproximadamente constante até o sexto ciclo. Esse comportamento indica que para 50% de resíduo de granito os corpos-de-prova sujeitos à escovação sofreram um rápido envelhecimento após o segundo ciclo.

A Tabela 4.4 apresenta um os valores de resistência a compressão simples ao longo dos ciclos de molhagem e secagem.

Tabela 4.4: Resistência à compressão simples ao longo dos ciclos de molhagem e secagem (MPa)

Resistência a Compressão Simples (MPa)						
	30% de Resíduo		40% de Resíduo		50% de Resíduo	
	Com escovação	Sem escovação	Com escovação	Sem escovação	Com escovação	Sem escovação
Ciclo 0 (28 dias)	-	3,7	-	3,5	-	3,2
1º Ciclo	3,5	3,5	2,7	4,0	3,5	3,5
2º Ciclo	3,5	3,5	2,7	3,9	3,5	3,7
3º Ciclo	3,7	3,6	2,1	3,7	2,1	4,1
4º Ciclo	3,6	4,4	2,8	4,5	2,1	4,0
5º Ciclo	2,8	4,2	3,4	4,5	2,1	3,7
6º Ciclo	1,6	4,4	2,7	4,7	2,0	3,5
NBR 10834/94 (Tijolos vazados).....						≥ 2,0 MPa
NBR 13553/96 (Parede monolítica) .....						≥ 1,0 MPa

Analisando os valores contidos na Tabela 4.4 verificou-se que o solo-cimento incorporado com teores de 30, 40 e 50% de resíduo de granito apresentaram valores de RCS superiores aos valores especificados Norma ABNT NBR 13553/96 – parede monolítica e NBR 10834/94 - tijolos vazados que é de 1,0MPa e 2,0 MPa respectivamente.

A Figura 4.12 apresenta a variação de volume dos corpos-de-prova submetidos à escovação ao longo dos ciclos de envelhecimento acelerado.

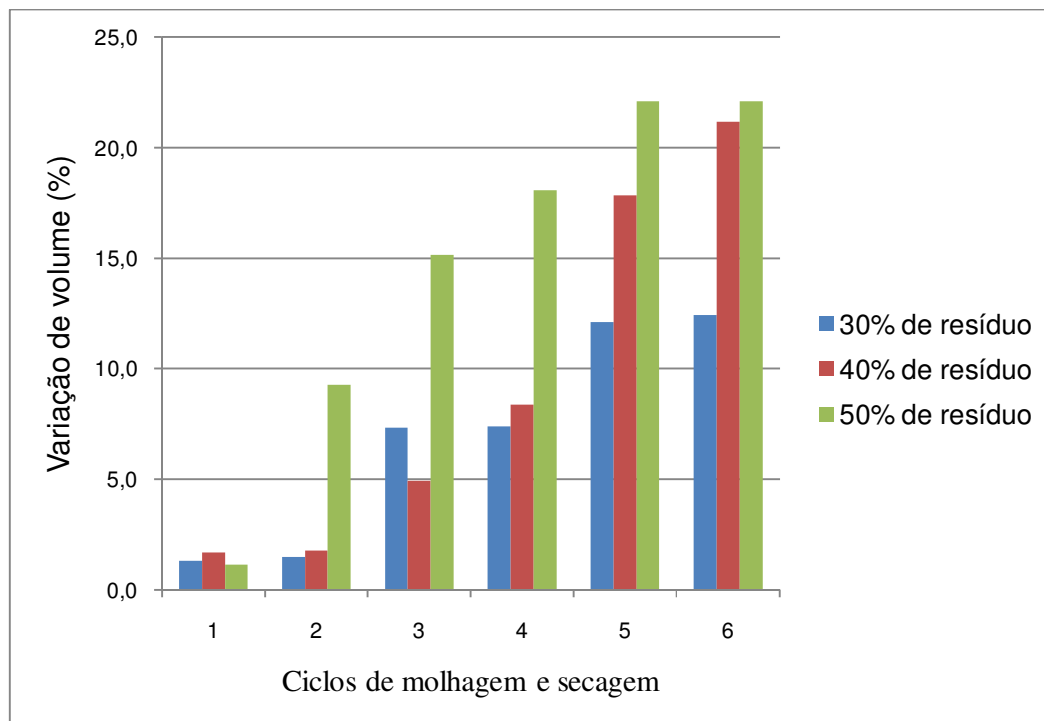


Figura 4.12: Variação de volume dos corpos-de-prova de solo-cimento incorporado com 30, 40 e 50% de resíduo de granito submetidos aos ciclos de molhagem e secagem.

Analisando o gráfico da Figura 4.12 observou-se que a variação de volume do traço 1:10 de solo-cimento incorporado com 30, 40 e 50% de resíduo de granito apresentou um comportamento ascendente. O desgaste volumétrico dos corpos-de-prova variou progressivamente ao longo dos ciclos de molhagem e secagem e proporcionalmente ao teor de resíduo presente na mistura de solo-cimento.

Os traços com 40 e 50% de resíduo granítico apresentaram ao final do ensaio valores de variação de volume muito superiores ao limite máximo de 14% definido pela norma ABNT NBR 13553/96 para este tipo de solo (A-2-4). Para os corpos-de-prova moldados com 50% de resíduo granítico a variação de volume superou já no segundo ciclo o limite de 14% sugerido pela norma, este fato está em conformidade e explica a queda brusca de resistência à compressão observada para este traço entre o segundo e terceiro ciclo, como apresentado na Figura 4.11.

Em relação à variação de volume o melhor comportamento foi verificado para o traço 1:10 com adição de 30% de resíduo granítico, que apresentou ao final do ensaio valor de variação volumétrica aproximadamente 13%.

As variações de volume dos corpos-de-prova que não foram sujeitos à escovação ao longo dos ciclos de molhagem e secagem foram inferiores a 0,1% para todas as proporções de resíduo granítico estudadas. O limite superior de variação de volume para paredes monolíticas de solo-cimento indicado pela norma ABNT NBR 13553/96 é de 14% para o solo A-2-4. Os valores encontrados estiveram bem abaixo do limite sugerido pela norma devido à ausência da escovação, principal responsável pelo desgaste dos corpos-de-prova.

A Figura 4.13 apresenta a perda de massa dos corpos-de-prova de solo-cimento incorporados com 30, 40 e 50% de resíduo de granito.

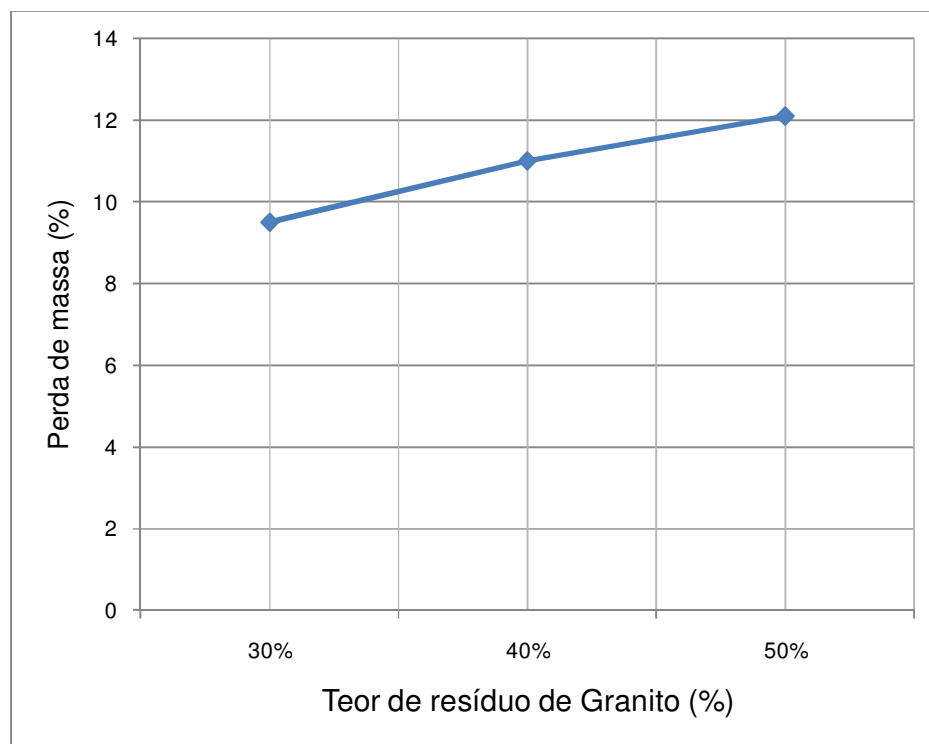


Figura 4.13: Perda de massa dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento incorporado com resíduo de granito ao final do sexto ciclo de molhagem e secagem.

Analisando os valores da Figura 4.13 foi observado que a perda de massa aumentou com o acréscimo do teor de resíduo granítico incorporado à massa de solo-cimento, em concordância com a variação volumétrica mostrada na Figura 4.10. Comportamentos semelhantes foram verificados por Grande (2003) e Oliveira et al. (2006). Estes resultados estão em conformidade com os valores encontrados nas Figuras 4.9, 4.10 e 4.11.

Os elevados valores de perda de massa (em média 11%) em relação ao limite definido pela norma ABNT NBR 13553/96 de 1% foram provavelmente devido à escovação. Durante a execução do ensaio foi possível perceber que a escovação provocou visivelmente um elevado desgaste aos corpos-de-prova, de modo que só seria possível permanecer no limite de 1% de perda de massa se o ensaio não incluísse a etapa de escovação.

As perdas de massa dos corpos-de-prova que não foram sujeitos à escovação ao longo dos ciclos de molhagem e secagem não ultrapassaram o limite superior de 1% indicado pela norma ABNT NBR 13553/96.

#### **4.2.2 Tijolos vazados de solo-cimento**

Nas Figuras 4.14, 4.15 e 4.16 estão apresentados os valores de absorção de água para os traços 1:9, 1:10 e 1:12 de solo-cimento incorporado com 30, 40 e 50% de resíduo de granito para os períodos de cura de 7 e 28 dias de cura submetidas e não-submetidas aos ciclos de molhagem – secagem – escovação.

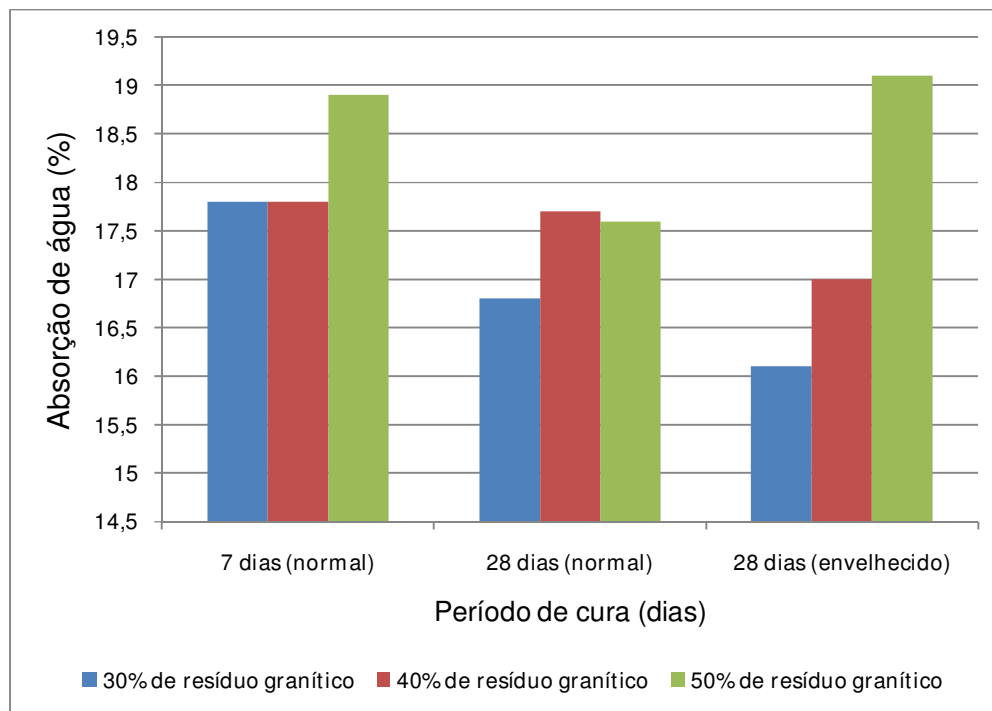


Figura 4.14: Absorção de água dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito para o traço 1:9.

Analisando os valores de absorção de água contidos na Figura 4.14 foi observado que entre o 7º e 28º dia houve um decréscimo no valor de absorção de água dos tijolos caracterizando a cura dos mesmos. Para os tijolos com 30% de resíduo verificou-se que a absorção de água dos tijolos sujeitos ao envelhecimento acelerado diminuiu em 4,2% em relação aos tijolos curados normalmente. Para os tijolos moldados com 40% de resíduo houve um decréscimo de 4,0% de absorção de água entre os tijolos curados normalmente e tijolos submetidos ao desgaste. Esse comportamento indicou que as condições de molhagem e secagem favoreceram os processos de cura dos tijolos, não evidenciando assim o envelhecimento, comportamento semelhante foi observado por OLIVEIRA (2006).

Já os tijolos moldados com 50% de resíduo experimentaram um aumento significativo na absorção de água (10%) para as amostras sujeitas aos ciclos de molhagem e secagem em relação às amostras curadas normalmente, sugerindo que houve o envelhecimento destes tijolos. Em todos os casos observados, os valores de absorção de água foram inferiores ao limite máximo indicado pela norma ABNT NBR 10834/94 que é de 20%.

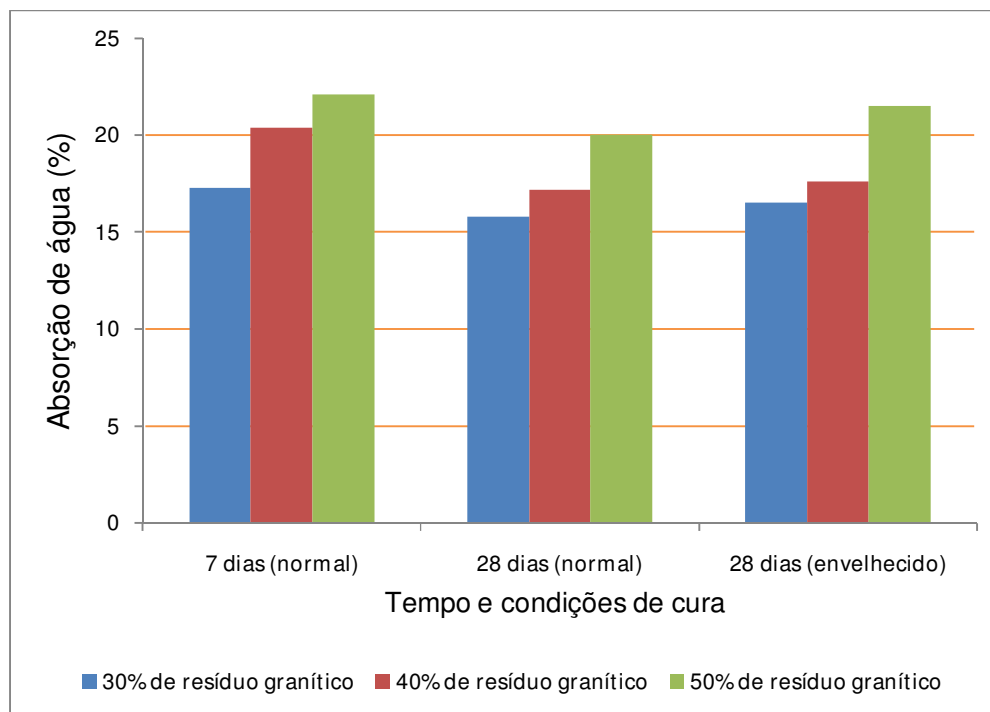


Figura 4.15: Absorção de água dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito pra o traço 1:10.

Observando os dados da Figura 4.15 verificou-se a cura dos tijolos entre o sétimo e vigésimo oitavo dia, caracterizada pela diminuição da absorção de água. Foi observada ainda uma tendência ao aumento do valor da absorção de água dos tijolos submetidos aos ciclos de molhagem e secagem, em relação aos tijolos curados normalmente, indicando um início de envelhecimento. Este mesmo comportamento foi verificado para os tijolos moldados com traço 1:12.

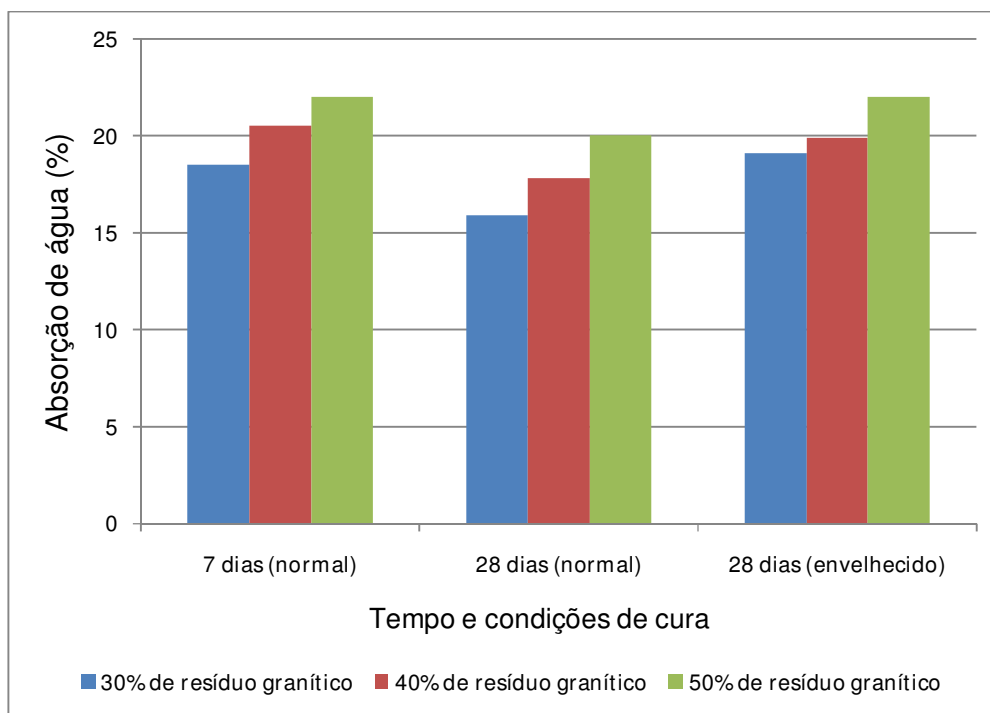


Figura 4.16: Absorção de água dos tijolos de solo-cimento incorporado com resíduo de granito para o traço 1:12.

Observando os valores da Figura 4.16 e comparando com os valores das Figuras 4.14 e 4.15, verificou-se que o valor da absorção de água apresentou tendência a crescer com o aumento do teor de resíduo ao solo-cimento, resultado esperado devido à porosidade ser majorada com a quantidade de quartzo presente no resíduo de granito. Comportamento semelhante foi observado por Silva et al. (2008), quando estudou a incorporação de resíduos de EVA ao solo-cimento.

Observou-se também que com a redução do traço (teor de cimento) de solo – cimento – resíduo de granito, houve um aumento da absorção de água, isto ocorre porque o cimento é material ligante que envolve fisicamente os grânulos do solo resultando no aumento de tamanho do agregado à medida que se processam a hidratação e cristalização do cimento, melhorando assim as propriedades de absorção de água e resistência (LOPES, 2002).

Na Tabela 4.5 está apresentado um resumo dos valores de absorção de água dos tijolos estudados.

Tabela 4.5: Absorção de água dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito para as idades de cura de 7 e 28 dias.

Absorção de água (%)				
TRAÇO	Composição da porção solo+ resíduo de granito	7 dias (Normal)	28 dias Normal	28 dias Envelhecido
1:9	30% de resíduo de granito	17,8	16,8	16,1
	40% de resíduo de granito	17,8	17,7	17,0
	50% de resíduo de granito	18,9	17,6	19,1
1:10	30% de resíduo de granito	17,3	15,3	16,5
	40% de resíduo de granito	20,4	17,2	17,6
	50% de resíduo de granito	22,1	20,0	21,5
1:12	30% de resíduo de granito	18,5	15,9	19,1
	40% de resíduo de granito	20,5	17,8	19,9
	50% de resíduo de granito	22,0	20,0	22,0
NBR 10834/94 .....				≤20 %

Observando os valores da Tabela 4.5 verificou-se que o solo-cimento incorporado com teores de 30, 40 e 50% de resíduo de granito apresentou valores de absorção de água inferiores aos valores especificados norma ABNT 13553/96, exceto o traço T3R3.

Nas Figuras 4.17, 4.18 e 4.19 estão apresentados os valores de resistência à compressão simples para os traços 1:9, 1:10 e 1:12 de solo-cimento incorporados com 30, 40 e 50% de resíduo de granito para os períodos de cura de 7 e 28 dias para os tijolos que foram submetidos aos ciclos de molhagem – secagem – escovação e os tijolos que não foram submetidos ao desgaste.



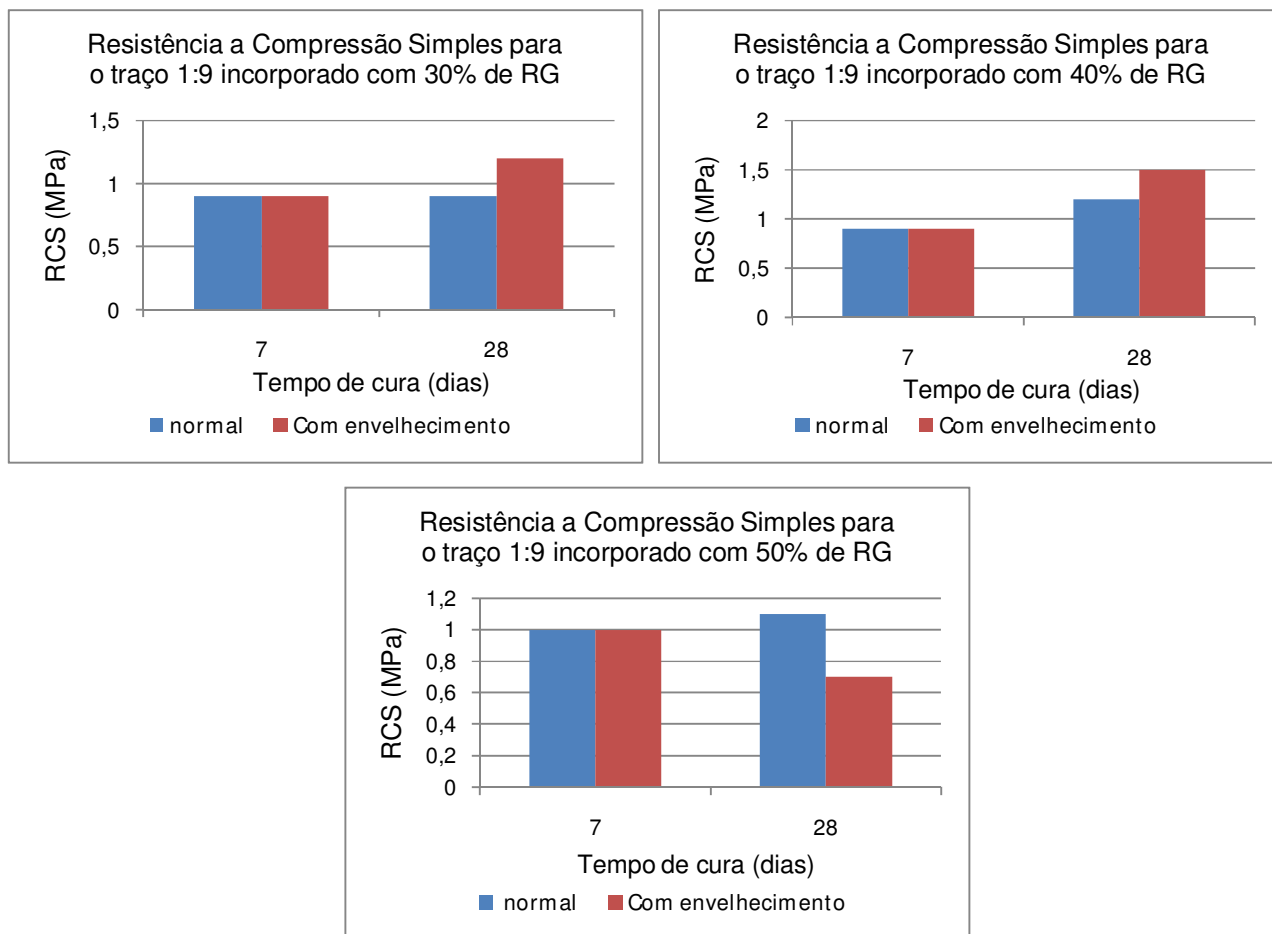


Figura 4.17: Resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito para o traço 1:9.

Analisando os gráficos da Figura 4.17 observou-se que para os tijolos que não foram submetidos aos ciclos de molhagem e secagem houve um aumento discreto da resistência à compressão simples entre as idades de 7 e 28 dias. Ao passo que os tijolos que foram submetidos aos ciclos de molhagem e secagem apresentaram comportamento diferente: os traços incorporados com 30 e 40% de RG sofreram um ganho elevado de resistência entre o 7º e o 28º dia de 32% (para o traço com 30% de RG) e 66% (para o traço com 40% de RG). Isso ocorre provavelmente devido às condições de ensaio (elevação de umidade e temperatura) que favoreceram os processos de cura dos tijolos, de maneira que para estes traços não ficou evidenciado o envelhecimento. Este comportamento está de acordo com os valores de absorção de água expressos na Figura 4.14.

O traço incorporado com 50% de RG apresentou uma redução da resistência entre o 7º e o 28º dias de 30% desta forma, foi evidenciado o envelhecimento destes tijolos ao final dos seis ciclos de molhagem e secagem, como indicou a Figura 4.14.

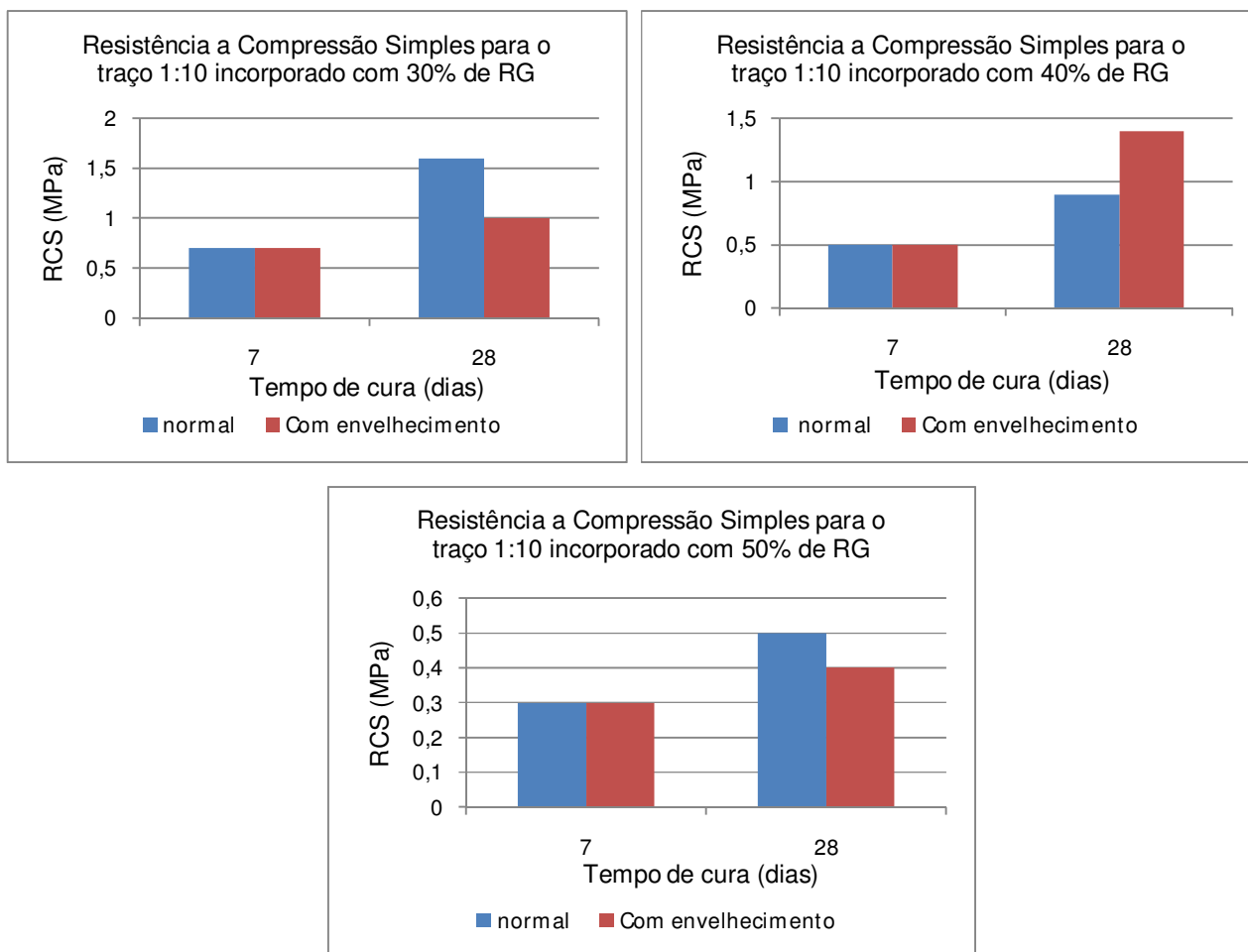


Figura 4.18: Resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento incorporado com resíduo de granito para o traço 1:10.

Observando os valores de RCS apresentados na Figura 4.18 verificou-se que para o traço 1:10 tanto para os tijolos que não foram submetidos aos ciclos de molhagem e secagem quanto para os que foram submetidos às condições de desgaste houve um ganho de resistência a compressão simples entre as idades de 7 e 28 dias. Não evidenciando o envelhecimento para este traço. Entretanto o ganho de resistência não se deu na mesma proporção. Para o traço com 40%

resíduo, foi verificado que a variação de RCS foi cerca de 50% maior para os tijolos sujeitos aos ciclos de envelhecimento que para aos tijolos que não foram sujeitos aos ciclos de molhagem e secagem, demonstrando que neste caso, a cura foi acelerada pelas condições do ensaio.

Para os traços com 30 e 50% de RG foi observado que a variação de resistência à compressão foi maior para as amostras que não foram submetidos aos ciclos de molhagem e secagem que para as amostras sujeitas ao ensaio de durabilidade, isso evidencia um início de desgaste dessas amostras.

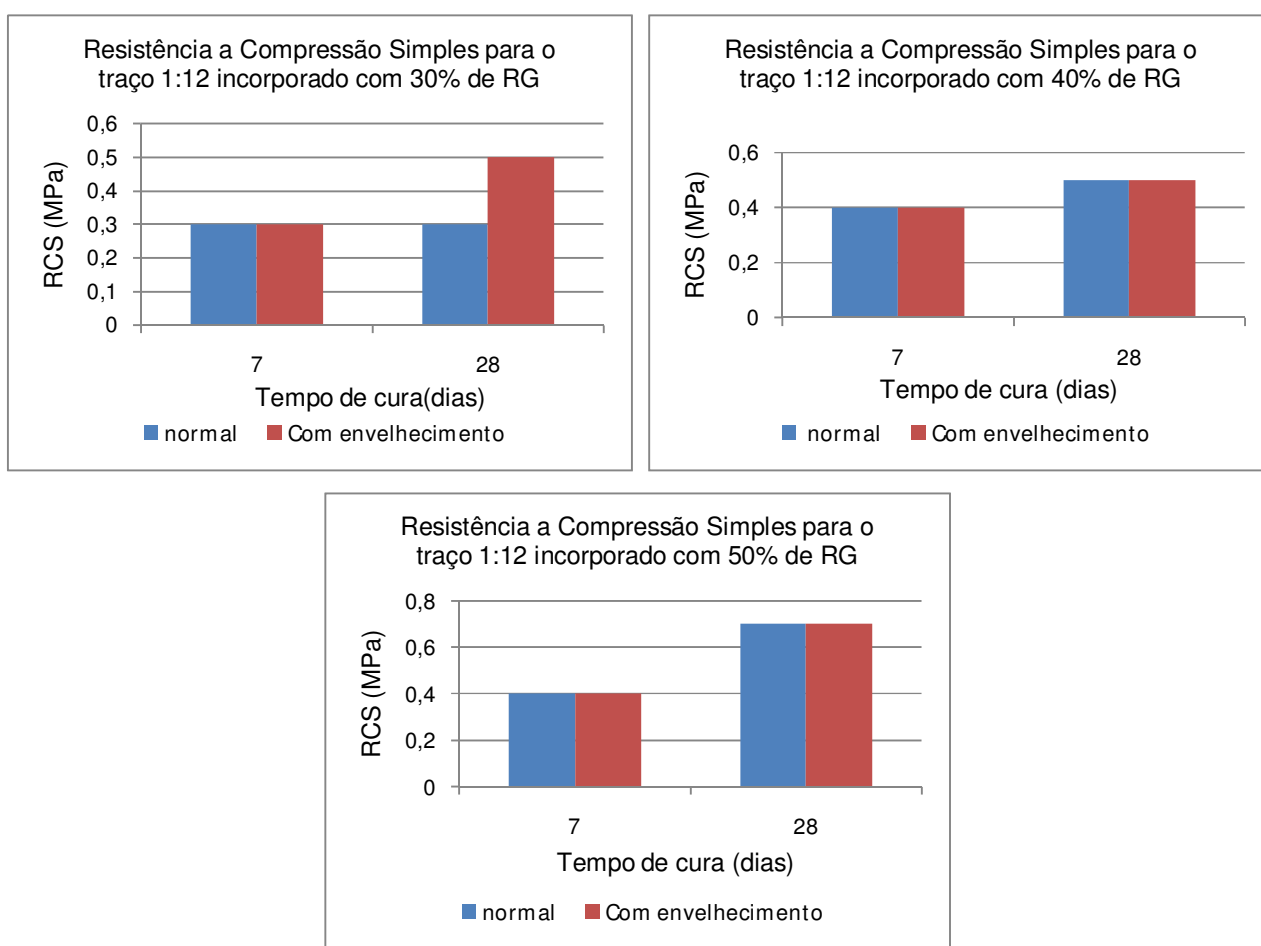


Figura 4.19: Resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito para o traço 1:12.

A partir dos valores de RCS apresentados na Figura 4.19 foi possível verificar para o traço 1:12 incorporado com 40 e 50% de RG que as amostras não submetidas aos ciclos de molhagem e secagem e as amostras que foram submetidas a essas condições apresentaram comportamento semelhante, de modo que seis ciclos não foram suficientes para fazer conclusões acerca do envelhecimento. Já para o traço 1:12 incorporado com 30% de RG foi possível verificar que as amostras submetidas ao desgaste apresentaram ganho de RCS 67% maior que as amostras não sujeitas ao desgaste, provavelmente devido às condições de ensaio ter favorecido o processo de cura.

Na Tabela 4.6 está apresentado os valores de Resistência a Compressão Simples dos tijolos estudados.

Tabela 4.6: Resistência a compressão simples dos tijolos de solo-cimento e RG curados normalmente e dos tijolos submetidos ao envelhecimento

Resistência à Compressão Simples (MPa)				
TRAÇO	Composição da porção solo+ resíduo de granito	7 dias (Normal)	28 dias Normal	28 dias Envelhecido
1:9	30% de resíduo de granito	0,9	0,9	1,2
	40% de resíduo de granito	0,9	1,2	1,5
	50% de resíduo de granito	1,0	1,1	0,7
1:10	30% de resíduo de granito	0,7	1,6	1,0
	40% de resíduo de granito	0,5	0,9	1,4
	50% de resíduo de granito	0,3	0,5	0,4
1:12	30% de resíduo de granito	0,3	0,3	0,5
	40% de resíduo de granito	0,4	0,5	0,5
	50% de resíduo de granito	0,4	0,7	0,7
NBR 10834/94 .....		≥ 2,0 MPa		

Analisando os dados da Tabela 4.6 e das Figuras 4.17, 4.18 e 4.19 foi possível fazer algumas observações. Primeiramente que o valor da RCS diminuiu com o aumento do teor de resíduo granítico, devido ao aumento do teor de quartzo presente no resíduo de granito, em conformidade com o que foi verificado para a absorção de água (Tab. 4.5), comportamento semelhante foi verificado por CASTRO (2008).

Em seguida foi verificado que os valores de RCS tenderam a diminuir com a diminuição do teor de cimento no traço, visto que o cimento é responsável por melhorar as características de absorção e resistência do tijolo (LOPES, 2000).

Comparando os valores de RCS apresentados nas Tabelas 4.4 e 4.6 para o traço 1:10, foi observado que os valores de RCS encontrados para os tijolos vazados de solo-cimento foram bastante inferiores aos mesmos valores encontrados para os corpos-de-prova cilíndricos. Isso ocorre devido a geometria do tijolo vazado que favorece a concentração de tensão nas bordas do tijolo (Fig.4.20 e 4.21), onde a área perpendicular a força é cerca de 70% menor que a área líquida do tijolo. Portanto a adaptação da metodologia descrita na NBR 8492/84 para tijolos maciços de solo-cimento não é adequada para tijolos vazados de solo-cimento, sendo por tanto mais indicado realizar os ensaios de resistência a compressão simples para tijolos vazados de solo-cimento com corpos-de-prova cilíndricos como recomenda a norma ABNT NBR 10834/94.

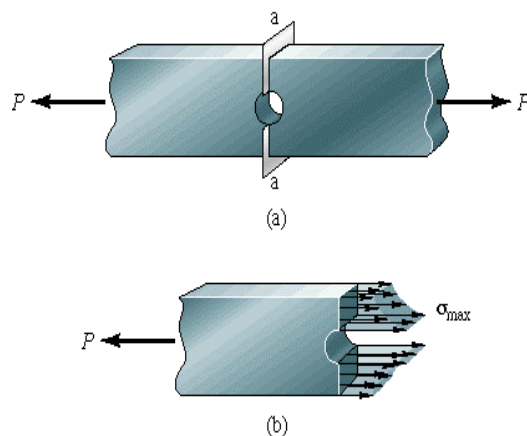


Figura 4.20: Concentração de tensões em Peças vazadas (Fonte: [www.catalao.ufg.br/mat](http://www.catalao.ufg.br/mat))

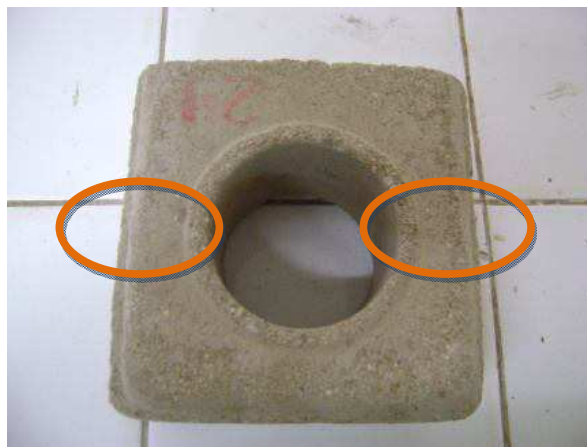


Figura 4.21: Área de concentração de tensão nos tijolos vazados de Solo-Cimento incorporado com resíduo de granito

As Figuras 4.22, 4.23 e 4.24 apresentam as variações volumétricas dos tijolos de solo-cimento incorporado com resíduo de granito moldados respectivamente com os traços 1:9; 1:10 e 1:12.

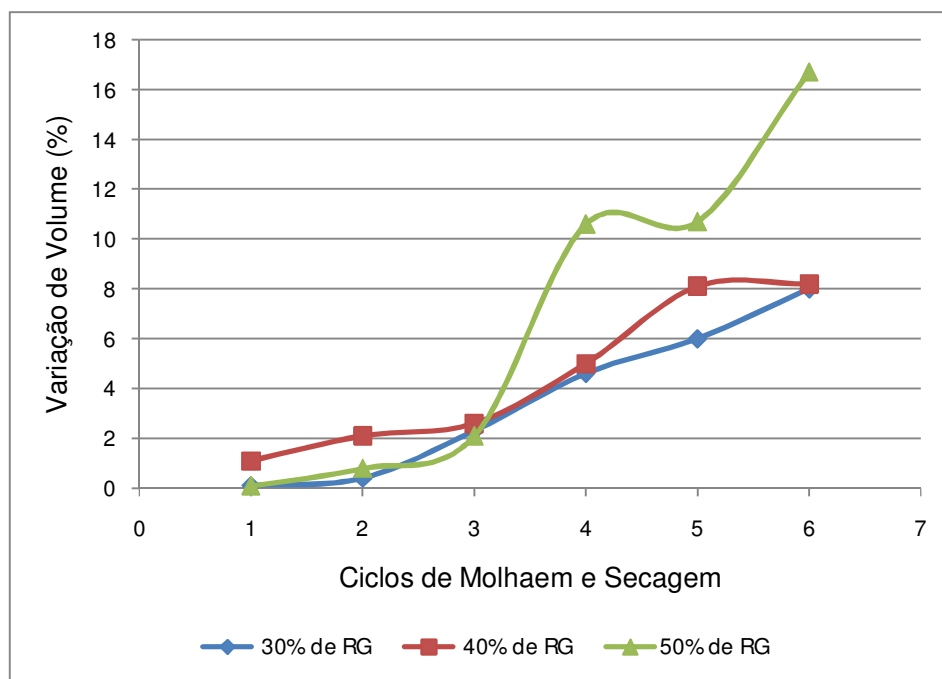


Figura 4.22: Variação de volume para os tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito submetidos aos envelhecimento para o traço 1:9.

Analisando os valores apresentados na Figura 4.22 observou-se que a variação de volume aumentou progressivamente ao longo dos ciclos de molhagem e secagem. Inicialmente, o traço 1:9 apresentou variação de volume semelhante para os teores de 30, 40 e 50% de resíduo, a partir do terceiro ciclo o traço com 50% de RG sofreu uma rápida perda de volume, cerca de 4 vezes maior que os traços com 30 e 40% de RG no mesmo período, enceraram os ciclos de molhagem e secagem com variação de volume igual a 8% e o traço com 50% de RG obtiveram variação de volume final superior a 16%. Não há parâmetros de comparação na normatização brasileira para variação de volume em tijolos de solo-cimento decorrentes do ensaio de durabilidade (ABNT NBR 13554/96). A norma ABNT NBR 13553/96 para paredes monolíticas, estabelece para o solo A-2-4 o limite superior de 14% de variação volumétrica, de acordo com este parâmetro, os traços com 30 e 40% de RG apresentaram valores de variação de volume satisfatórios.

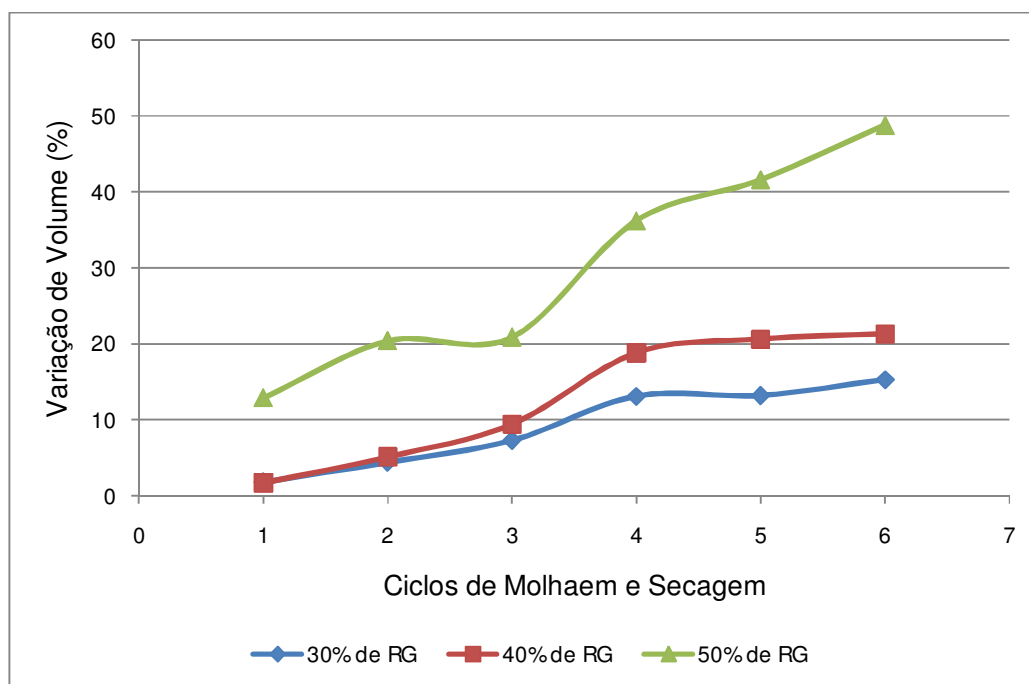


Figura 4.23: Variação de volume para os tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito submetidos aos envelhecimento para o traço 1:10.

Os valores de variação volumétrica expressos na Figura 4.23 também apresentaram tendência ao crescimento ao longo dos ciclos do ensaio de durabilidade. Os tijolos moldados com o traço 1:10 incorporado com 30% de RG tiveram variação volumétrica dentro do limite indicado pela norma ABNT NBR 13553/96 de 14% até o final do sexto ciclo. Os tijolos moldados com o traço 1:10 incorporados com 40% de RG já a partir do quarto ciclo apresentaram valores de variação volumétrica superior a 14%. Destacou-se, porém, o traço incorporado com 50% de RG, a partir do segundo ciclo já alcançou 20% de variação de volume e ao final do ensaio este valor chegou a 49%. Trindade et al. (2005) encontrou resultado semelhante, sendo que algumas de suas amostras não resistiram até o final do ensaio.

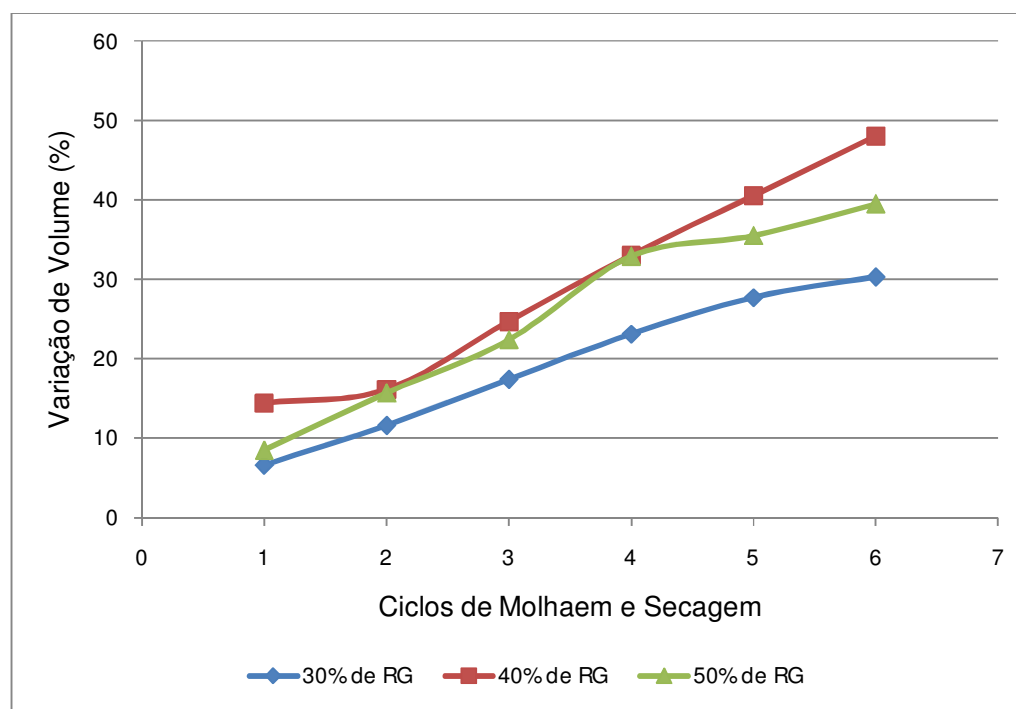


Figura 4.24: Variação de volume para os tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito submetidos aos envelhecimento para o traço 1:12.

Observando os valores apresentados na Figura 4.24 verificou-se que o traço com 40% de RG apresentou maior variação volumétrica, superando a partir do segundo ciclo o valor máximo de 14% sugerido pela norma ANBT NBR



13553/96 e obtendo no sexto ciclo variação de volume de quase 50% em relação ao volume inicial. Valores de variação de volume superiores a 14% também foram observados para os traços 30 e 50% de RG a partir do quarto ciclo.

Comparando os valores da Figuras 4.22, 4.23 e 4.24, observou-se que a variação de volume tendeu a aumentar com o aumento do teor de resíduo e com a diminuição do teor de cimento, provavelmente devido o aumento do teor de quartzo presente no resíduo de granito e as propriedades aglomerantes do cimento respectivamente. Estes resultados estão em conformidade com os resultados de absorção de água e resistência apresentados nas Tabelas 4.5 e 4.6. Os elevados valores de variações de volume encontrados foram devido às escovações, durante a execução do ensaio percebeu-se visivelmente que as escovações causaram grande desgaste aos tijolos, como mostra a Figura 4.25.



Figura 4.25: Desgaste dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito após a escovação, durante o ensaio de durabilidade.

A Figura 4.26 apresenta os valores de perdas de massa dos tijolos de solo-cimento para os traços 1:9, 1:10 e 1:12 incorporados com 30, 40 e 50% de resíduo de granito.

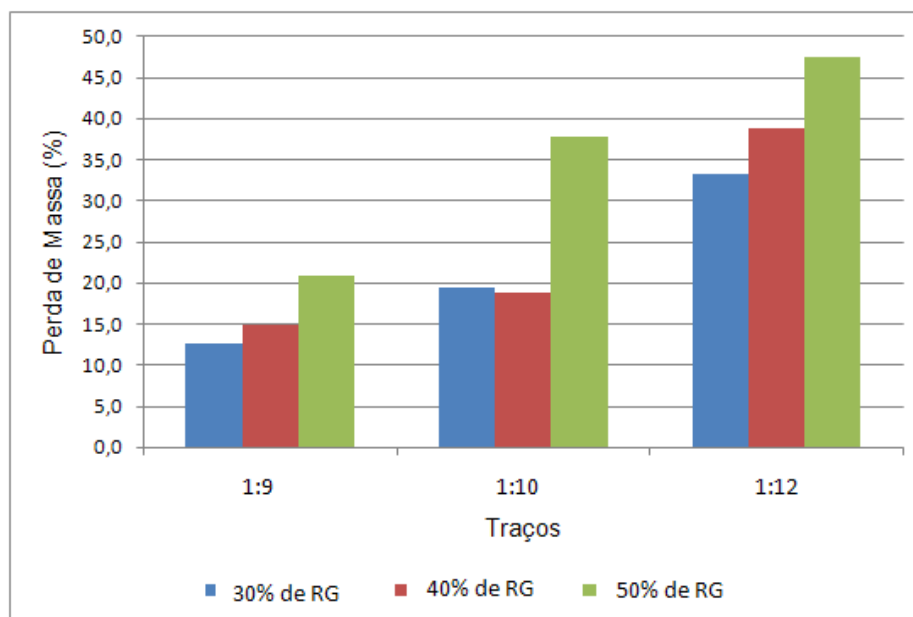


Figura 4.26: Perda de massa dos tijolos de solo-cimento incorporados com RG ao final dos ciclos de molhagem e secagem

Analisando os valores de perda de massa expressos na Figura 4.26 verificou-se que o traço 1:9 apresentou os melhores resultados, com perda de massa pouco superior a 20%, para a mistura com 50% de resíduo granítico. Os maiores valores de perda de massa foram verificados para o traço 1:12, cerca de 50%. Esses resultados mostram que a perda de massa apresentou a mesma tendência da variação de volume (Fig. 4.22, 4.23 e 4.24), onde a perda de massa aumentou com o acréscimo de resíduo de granito e com a diminuição do teor de cimento. Isso ocorre provavelmente devido a presença de quartzo no resíduo de granito aglomerantes do cimento. Resultados semelhantes foram encontrados por OLIVEIRA (2006).

Na normatização brasileira não há parâmetros de comparação de perda de massa decorrente do ensaio de durabilidade (ABNT NBR 13554/96) específico para tijolos de solo-cimento. A norma ABNT NBR 13553/96 para paredes monolíticas, estabelece para o solo A-2-4 o limite superior de 1% para perda de massa. O traço 1:9 incorporado com 30% de RG apresentou o menor valor de perda de massa (12,6%), e este foi 12 vezes superior ao 1% sugerido pela norma ABNT NBR 13553/96. A perda de massa para o traço 1:12 incorporado com 50%

de RG foi quase 50 vezes maior que este limite. Os elevados valores de perda de massa encontrados foi provavelmente devido à escovação, principal responsável pelo desgaste dos tijolos durante os ciclos de molhagem e secagem.

Comparando os valores de perda de massa encontrados para os corpos-de-prova cilíndricos no estudo de parede monolítica de solo-cimento incorporado com RG (Fig. 4.13) e para os tijolos de solo-cimento incorporados com RG, traço 1:10 (Fig. 4.26), foi verificado que ambos apresentaram o mesmo comportamento, aumentando o valor de perda de massa com o aumento do teor de resíduo, entretanto, os valores de perda de massa encontrados para os corpos-de-prova cilíndricos foram significativamente inferiores aos encontrados para os tijolos de solo-cimento (em média 56% menor). Este fato ocorre primeiramente devido a geometria dos tijolos. A área escovada nos tijolos em relação ao seu volume foi 70% maior que nos corpos-de-prova cilíndrico, daí um desgaste maior. E em segundo lugar porque para os tijolos de solo-cimento incorporados com RG o ensaio de durabilidade iniciou-se aos 7 dias após a moldagem dos tijolos conforme recomendado pela norma ABNT NBR 13554/96, sabe-se que neste período a cura do solo-cimento não está completa, enquanto os corpos-de-prova cilíndricos iniciaram os ciclos de molhagem e secagem aos 28 dias de cura.

#### **4.3 AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS UTILIZADAS**

Para estudar a durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito foram feitas algumas adaptações às metodologias descritas pelas normas ABNT NBR 8492/84, NBR 10836/94 e NBR 13554/96.

Em relação aos ensaios de RCS para os tijolos vazados de solo-cimento foi proposto substituir os procedimentos descritos na ABNT NBR 10836/94 a qual recomenda realizar o ensaio com corpos-de-prova cilíndricos, pelos procedimentos descritos na ABNT NBR 8492/84, a fim de verificar o comportamento da resistência com os próprios tijolos. Esse procedimento se mostrou satisfatório na medida em que foi avaliado o comportamento da ruptura dos tijolos, entretanto, comparando os valores das Tabelas 4.4 e 4.6 verificou-se

que devido à geometria do tijolo vazado, que propicia a concentração de tensões, não é possível, com essa metodologia obter valores de RCS superiores a 2.0 MPa.

Nos estudos de durabilidade foram feitas duas adaptações, uma para estudo de parede monolítica de solo-cimento incorporada com RG, para o qual os ensaios se iniciaram aos 28 dias de cura e não aos 7 dias como sugere a norma ABNT NBR 13554/96, afim de verificar a influência da cura sobre o envelhecimento dos corpos-de-prova. E parte das amostras não foram escovadas afim de verificar a influencia da escovação sobre o desgaste dos corpos-de-prova.

A segunda adaptação foi referente ao estudo da durabilidade em tijolos de solo-cimento e RG, onde os ensaios foram realizados com os tijolos e não com corpos-de-prova cilíndricos com sugere a referida norma. A primeira adaptação (sem as escovações) apresentou-se mais satisfatória que a segunda, visto que, comparando os valores de perda de massa apresentados nas Figuras 4.13 e 4.26 e de variação de volume apresentados nas Figuras 4.12 e 4.23, observou-se que os tijolos de solo-cimento incorporado com RG sofreram maior perda de massa e maior variação de volume que os corpos-prova cilíndrico de solo-cimento e RG, tanto devido a geometria dos tijolos, que oferece maior área de escovação, quanto à cura que aos 7 dias não estava completa. Outro fator relevante foi a escovação, onde verificou-se que esse procedimento majorou sobremaneira o desgaste tanto dos tijolos quanto dos corpos-de-prova cilíndricos de maneira que foi impossível obter valores de perda de massa inferior a 1%.

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos estudos de durabilidade de solo-cimento incorporado com resíduo de granito para utilização em parede monolítica e tijolos de solo-cimento, concluiu-se que:

- **Caracterização física-mineralógica.**

O resíduo de granito e solo estudados apresentou distribuição de tamanho de partículas adequado para utilização em solo-cimento.

O solo utilizado apresentou classificação de acordo com a AASTHO como sendo A-2-4.

O resíduo de granito apresentou composição química como sendo sílico-aluminoso e o solo apresentou cor avermelhada proveniente do teor de óxido de ferro.

O resíduo de granito apresentou as seguintes fases mineralógicas: quartzo, feldspato e mica, enquanto o solo apresentou quartzo, feldspato, mica e caulinita.

- **Ensaio Tecnológicos.**

Os valores de absorção de água tanto no estudo de parede monolítica quanto dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito apresentaram tendência a aumentar com o aumento do teor de resíduo de granito. Os valores de absorção de água estiveram dentro das especificações da ABNT NBR 10834/94

A resistência à compressão simples diminuiu com o aumento do teor de resíduo. Para os corpos-de-prova cilíndricos os valores de resistência a compressão simples estiveram acima dos parâmetros da ABNT NBR 10834/94.

Para os tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito os valores de resistência a compressão simples foram inferiores aos parâmetros da ABNT NBR 10834/94, devido à geometria dos tijolos vazados.

Os melhores resultados foram para os corpos-de-prova incorporados com 30% de resíduo de granito.

- **Ensaio de durabilidade**

Os valores de perda de massa e variação de volume aumentaram com o aumento do teor de resíduo de granito.

Os corpos-de-prova cilíndricos, referentes ao estudo de paredes monolíticas, que não foram submetidos à escovação apresentaram perda de massa e variação de volume dentro das especificações da norma ABNT NBR 13553/96. Enquanto os corpos-de-prova que foram submetidos à escovação sofreram elevada perda de massa e variação de volume, muito superior ao especificado pela ABNT NBR 13553/96.

Foi verificado que resíduo de granito melhorou as propriedades de resistência, absorção e durabilidade do solo-cimento, quando incorporado em proporções moderadas.

Foi verificado que o envelhecimento tende a ser percebido mais rapidamente em materiais de solo-cimento incorporados com maior teor de resíduo de granito, e traço com menor porcentagem de cimento.

Até o quarto ciclo de molhagem e secagem, a maioria dos traços estudados apresentou tendência a melhorar suas propriedades de resistência a compressão, sendo o envelhecimento percebido apenas a partir do quinto ciclo em diante.

A metodologia de ensaio de durabilidade que se mostrou mais satisfatória foi a realizada com corpos-de-prova cilíndricos, iniciado aos 28 dias de cura e sem escovação.

- **Conclusão final**

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciaram a possibilidade de utilização de resíduo de serragem de granito em solo-cimento para aplicação em parede monolítica e tijolos para habitação de interesse social.

Estes resultados também podem contribuir para a formação de um banco de dados técnicos com informações a respeito ao uso de resíduo de serragem de granito, quantidades e aplicações.

A pesquisa evidencia ainda a necessidade de normatização que regule e ofereça parâmetros tecnológicos para o uso de materiais alternativos junto ao solo-cimento.

Por fim foi verificado que durante o ensaio de durabilidade, a escovação, que por sua vez representa o desgaste mecânico, é a principal responsável pelo desgaste e envelhecimento do corpo-de-prova, ao passo que as condições de molhagem e secagem favoreceram o processo de cura, conferindo ao material melhor resistência ao envelhecimento. Esse resultado evidencia a dificuldade de estudar os processos de envelhecimento, constituindo num desafio para os estudos feitos em relação a durabilidade de materiais.

## **6 POSSÍVEIS LINHAS DE PESQUISA.**

A partir deste trabalho se propõe como possíveis linhas de pesquisa:

- Estudar as patologias de paredes monolíticas e alvenarias de tijolos de solo-cimento incorporados resíduo de granito.
- Estudar a durabilidade de tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito através de câmara climatizada em diversas temperaturas e umidade relativa,
- Avaliar o envelhecimento natural de tijolos de solo-cimento incorporado com resíduos e comparar com o envelhecimento acelerado.

## 7 REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. ABCP, São Paulo, SP, ET-35, 51p, 1956.

### ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

\_\_\_\_ NBR 5732. Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991

\_\_\_\_ NBR 5733. Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_ NBR 5735. Cimento Portland de alto forno. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_ NBR 5736. Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro 1991.

\_\_\_\_ NBR 6118. Projeto de estrutura de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_ NBR 6459. Solo - determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984

\_\_\_\_ NBR 7180. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984

\_\_\_\_ NBR 7182. Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_ NBR 8491. Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_ NBR 8492. Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência a compressão e absorção de água. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_ NBR 10004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004

\_\_\_\_ NBR 10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_ NBR 10832. Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização da prensa manual. Rio de Janeiro, 1989.

\_\_\_\_ NBR 10834. Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_ NBR 10836. Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência a compressão e absorção de água. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_ NBR 12024. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992.



\_\_\_\_NBR 12025. Solo-cimento – ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990

\_\_\_\_NBR 12253. Solo-cimento – dosagem para emprego como camada de pavimento. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_NBR 13553. Materiais par emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_NBR 13554. Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Rio de Janeiro, 1996.

ALBUQUERQUE, L. Q. C.; BISCARO, G. A.; NEGRO, S. R. L.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, L. A.; LEAL, S. T., **Resistência a compressão de tijolos de solo-cimento fabricados com o montículo do cupim *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1832)** Ciênc. agrotec. vol.32 no.2 Lavras Mar./Apr. 2008. Disponível em:www.scielo.com.br. Acesso em Abril de 2009.

ANTUNES, I. S., **Aplicação de Solo-Cimento em Habitações Populares.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Sergipe. SE. 2008

ARGONZ, R., et al. **Caracterização de Resíduos de Granito Rain Forest proveniente da serra da Meruoca (CE) visando seu aproveitamento como matéria prima cerâmica.** In: 51<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Cerâmica. Salvador-BA, 2007.

**ASTM, American Society for testing and materials.** ASTM C618. Standard specification for coal flay ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concret. Philadelphia, 2006.

BORGES, L. V. S.; COLOMBO, C. R., **construções com terra: alternativa voltada à sustentabilidade.** 2009. Disponível em: [http://64.233.163.132/search?q=cache:4\\_tufrekRrkJ:info.ucsal.br/banmon/Arquivos/ART\\_150709.doc+favela+do+taos+pueblo.](http://64.233.163.132/search?q=cache:4_tufrekRrkJ:info.ucsal.br/banmon/Arquivos/ART_150709.doc+favela+do+taos+pueblo.) > Acesso em: Junho/ 2009.

CALMON, J. L.; TRISTÃO, F.A.; LORDÉLIO, F.S.S.; SILVA,A.C.; MATOS, F. V., **Aproveitamento de Resíduos de Corte de Granito para Produção de Argamassa de Assentamento.** In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, BA. Abril, 1997.

CAMPOS, I. M. **Solo-cimento, solução para economia e sustentabilidade.** Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23>, 2007 > acesso em abril de 2009.

CAPRA, F., et.al.**Alfabetização ecológica. O desafio para a educação no século 21.** In: TRIGUEIRO, André (Cord.). Meio Ambiente no século 21. 4 ed. Campnas: Autores Associados, 2005.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, Vol 1-3. Rio de Janeiro: LTC. 1975.

**CARTILHA PARA PRODUÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO**. Fundação de Tecnologia do Estado do Acre Departamento Técnico e de Produção. Disponível em: [http://201.67.42.66:8051/web/apps/upload/arq\\_1162996746.pdf](http://201.67.42.66:8051/web/apps/upload/arq_1162996746.pdf). Acesso em 28 de outubro de 2008.

CASTRO, S. F. **Incorporação de resíduo de caulim para uso em solo-cimento em construções civis**. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 2008.

CHIODI FILHO, C. **Situação e perspectivas brasileiras do setor de rochas ornamentais e de revestimento**. In: Ribeiro, A. F. Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais I, Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, 2001.

CORDEIRO, E. R., NOGUEIRA R. E. F. Q., NOGUEIRA NETO, J. A., ARAÚJO, F. S. M. **Moldagem por injeção de pó residual proveniente da extração do granito Branco Savana**. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais CBECIMAT, Porto Alegre, RS, 2004.

FARIAS FILHO, J. **Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB. 2007

FEITOSA, A. O. **Utilização do resíduo de serragem de granito para uso em blocos de concreto sem função estrutural**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Paraíba – Campus II. Campina Grande. 2004.

FÉLIX, P. C. G., **Estudo da viabilidade técnica da moldagem por injeção a baixas pressões de pó residual de granito**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 2001.

FERREIRA, R. C., GOBO, J. C., CUNHA, A. H. N., **Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento**. Eng. agríc. vol.28 no.1 Jaboticabal Jan./Mar. 2008. Disponível em: [www.scielo.com.br](http://www.scielo.com.br). Acesso em Abril de 2009.

GONÇALVES, J.P, **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2000.

GRANDE, F. M., **Fabricação de Tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem a adição de sílica ativa**. Dissertação (mestrado). Eesc – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos-SP, 2003.

JOHN, V. M., **Reciclagem de Resíduos Sólidos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento** (tese de livre docência). EPUSP. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo.: 120p. 2000.

LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas – SP. 2002.

MENEZES, R. R., ALMEIDA, R. R., SANTANA, L. N. L., NEVES, G. A. Neves, LIRA, H. L., FERREIRA, H. C., **Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos**. In: **Revista Cerâmica** 53, 2007.

MILANI, A. P. S., FREIRE, W. J., **Avaliação física, mecânica e térmica de misturas de solo-cimento adicionadas de cinza de casca de arroz sem atividade pozolânica**. In: *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n.11, p.23-30, Abril, 2008.

MILANI, A. P. S, FREIRE, W.J. **Características Físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz**. In: *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, V. 26, n.1, p. 1-10, Jan/Abr. 2006.

MILLER, G. A.; AZAD, S. **Influence of soil type on stabilization with cement klin dust**. In: *Construction on Building Materials* nº 14. Elsevier Science. P.89-97. 2000

MOTHÉ FILHO, H. F., POLIVANOV, P., MOTHÉ, C. G., **Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ Vol. 28-2 p.139-151/ 2005.

MOREIRA, J. M. S., FREIRE, M. N., HOLANDA, J. N. F., **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em Cerâmica Vermelha**. 2009. In: *Revista Cerâmica*. V. 49. P. 262 – 267.

NEVES, G. A. **Reciclagem de resíduos de serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2002.

OLIVEIRA, D. F., SANTOS, V. S., LIRA, H. L., MELO, A. B., NEVES, G. A. **Durabilidade de compósitos de concreto Portland produzidos com agregados reciclados da construção civil**. *Revista Eletronica de Materiais e Processos*, V.I, 2 (2006) Disponível em: [www.dema.ufcg.edu.br/revista](http://www.dema.ufcg.edu.br/revista) > Acesso em Maio/2009.

OLIVEIRA, I. C. A., **As lamas resultantes da indústria transformadora das rochas ornamentais -recuperação paisagística de um aterro superficial de lamas em Pêro Pinheiro (sintra)**. Relatório de Conclusão de Curso. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal, 2005

PEITER, et, al. **Rochas ornamentais no século XXI: bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras**. Rio de Janeiro: CETEM, 2001.

PEREIRA, E. A., **Diagnóstico dos problemas de gestão de obras habitacionais de interesse social em empresas privadas**. Monografia de Conclusão de curso. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. Belo Horizonte – MG. 2008.

PEYNEAU, G. O. R., PEREIRA, G. S., **Tratamento dos resíduos provenientes das serragens de granito através da implantação do filtro-prensa**. In: XXIV ENEGEP Florianópolis, SC, 2004

PINTO, B.R.L., **Um Novo Conceito de Espaço de Recreio Urbano**. Relatório de Conclusão de Curso. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal, 2001.

PREZOTTI, J.C.S. et al. **Concepção de um sistema de gerenciamento de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais**. In: I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. Guarapari, ES. 2004.

RIBEIRO FILHO, J. N., SILVA, G. C. LUCENA, K. F. M. CARVALHO, N. H. C. **Projeto de execução de casa eco-eficiente em Campina Grande – PB**. In: I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nodestina de Educação Tecnológica, 2006.

ROJAS, J.W.J; CONSOLI, N.C.; HEINECK, K.S., **Durabilidad de um suelo contaminado y tratado com cemento portland**. In: Revista Ingeniería de Construcción Vol. 23 Nº3, Dez/2008. Disponível em.: [www.ing.puc.cl/ric](http://www.ing.puc.cl/ric) > acesso em: Agosto/ 2009.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira (SP)**. 2000. 176 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SILVA, E. P., J. NASCIMENTO, W. B.; BARBOSA, N. P.; LEAL A. F., **Avaliação de painéis de tijolos prensados de solo-cimento incorporados com resíduos de calçados (EVA)**. In: Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.3.2 (2008) 44-49. Disponível em: [www.dema.ufcg.edu.br/revista](http://www.dema.ufcg.edu.br/revista) Acesso em: abril/2009.

SILVA, D. C., VIDAL, F. W. H. **Aproveitamento econômico de rejeitos de lavra de granitos nas pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena.** In: Morais J. O. Rochas industriais: pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais. Fortaleza-CE, 2003,

SILVA, A. C.; **Estudo da Durabilidade de Compósitos Reforçados com Fibra de Celulose.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo - SP. 2002.

SILVA, S. A., **Caracterização do resíduos de serragem de blocos de granito. Estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassas de assentamento e de tijolos de solo-cimento.** Vitória, ES. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória – ES. 1998.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de São Paulo. Ilha Solteira. -SP, 2006.

TRINDADE, T. P., LIMA, D. C., MACHADO, C. C., CARVALHO, C. A. B., SCAEFER, C. E. G. R., FONTES, M. P. F., CANESCHI, F. P. **Estudo da Durabilidade de Misturas solo-RBI Grade 81 com Vistas à Aplicação em Estradas Florestais e Camadas de Pavimentos convencionais.** In: Sociedade de Investigações Florestais. R. Árvore, V. 29. N.4. Viçosa, MG. 2005.

XAVIER, G. C., SABOYA, F., MAIA, P. C. A., ALEXANDRE, J., **Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito.** In: Revista Cerâmica. Vol. 55. No. 333. São Paulo – SP. Jan/Mar. 2009.