

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ LIMA DOS SANTOS NETO

**MELHORAMENTO DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO COM  
ADIÇÃO DO RESÍDUO DO CORTE DO MARMORE E GRANITO  
(RCMG)**

DELMIRO GOUVEIA  
2015

JOSÉ LIMA DOS SANTOS NETO

MELHORAMENTO DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO COM  
ADIÇÃO DO RESÍDUO DE CORTE DO MARMORE E GRANITO  
(RCMG)

Monografia apresentada ao Colegiado do  
Curso de Graduação em Engenharia Civil  
da Universidade Federal de Alagoas como  
parte dos requisitos para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador:  
Prof. Alexandre Nascimento de Lima, Mr.

DELMIRO GOUVEIA  
2015

Monografia apresentada ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**S237m Santos Neto, José Lima dos**  
**Melhoramento do tijolo de solo-cimento com adição do**  
**resíduo do corte de mármore e granito (RCMG) / José Lima**  
**dos Santos Neto, 2015.**

71 f. ; il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade  
Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2015.

Orientação: Prof. Ms. Alexandre Nascimento de Lima.

1. Granito. 2. Mármore. 3. Resíduos. 4. Solo-cimento.

CDU 624

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Campus Sertão/  
UFAL – Delmiro Gouveia

## Folha de Aprovação

### AGRADECIMENTOS

JOSÉ LIMA DOS SANTOS NETO

Melhoramento do Tijolo de Solo-cimento, com Adição do Resíduo do  
Corte do Mármore e Granito.

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao corpo docente de  
Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Alagoas e aprovado no dia  
02 de dezembro de 2015.

Alexandre Nascimento de Lima

Prof. MSc. Alexandre Nascimento de Lima, UFAL (Orientador)

### Banca Examinadora:

Alexandre Nascimento de Lima

Prof. MSc. Alexandre Nascimento de Lima, UFAL

Rafaela Faciola Coelho de Souza

Prof. Dra. Rafaela Faciola Coelho de Souza, UFAL

Karlisson André Nunes da Silva

Prof. MSc. Karlisson André Nunes da Silva, UFAL

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela oportunidade de viver, por me dar força e esperança em todos os momentos.

Aos meus pais, por tanto carinho, atenção e cuidado.

Ao Prof. Alexandre Nascimento de Lima, pela orientação, confiança, dedicação e oportunidade de realizar este trabalho.

A Marmo Bráz pelo fornecimento do resíduo utilizado neste trabalho.

A professora Rafaela Faciola, por ter me ajudado nos ensaios de solo e fazer parte desta banca.

A todos os professores que passaram por minha formação e compartilharam seus conhecimentos.

A todos da minha família, por terem me dado muitos votos de felicidade.

Aos meus amigos: Arlan Ricardo, Filipe Amaro e Rafael Siqueira, pela confiança e amizade em todos os momentos que precisei;

Aos técnicos: Arnon e Adeilton, que me ajudaram na realização dos ensaios para este trabalho.

Muito Obrigada.

## RESUMO

Com a temática da sustentabilidade em alta nos dias de hoje, fica cada vez mais evidente a necessidade de desenvolver técnicas e materiais, que proporcionem o desenvolvimento da indústria da construção civil em parceria com o meio ambiente, mesmo que não seja possível um total acordo entre eles, que os impactos causados pela mesma sejam os mínimos possíveis. Assim, este trabalho de pesquisa teve a intenção de promover o melhoramento de um produto já existente, o tijolo de solo-cimento. com o uso de um resíduo que gera grandes problemas para o meio ambiente, resíduo do corte do mármore e granito. Na mistura, o resíduo foi aplicado em substituição a uma parte do volume do solo arenoso que foi utilizado no trabalho, solo este que foi retirado da própria região de Delmiro Gouveia/AL. Para isso, foram determinados quatro traços, sendo o primeiro apenas com solo e cimento e os outros três com adição do resíduo, em 5%, 10% e 15%, respectivamente. Ao todo, foram moldados 80 tijolos sendo 20 para cada traço, como é indicado pela NBR 10833 e, destes 20, escolhidos 10 para a realização dos ensaios de resistência a compressão simples com 7 tijolos, e de absorção de água com 3 tijolos. Todos os traços corresponderam aos critérios de absorção de água e resistência a compressão simples definidos na NBR 8491, onde nenhum tijolo teve valor individual de resistência a compressão inferior a 1,7 MPa ou uma absorção de água superior a 22%. Com a incorporação do resíduo, a mistura observou-se um crescimento da resistência a compressão simples que foi de 2,5 MPa, sendo este o valor médio dos tijolos com 0% de resíduo, para 2,85 MPa, sendo este o valor médio dos tijolos com 15% de resíduo. Os estudos mostraram que o uso do resíduo na fabricação de tijolos de solo-cimento é uma boa destinação para o resíduo do corte de mármore e granito, pois, além de melhorar as propriedades do produto final com um baixo custo, evita o acúmulo desse resíduo no meio ambiente.

Palavras-chave: Tijolo de solo-cimento. Melhoramento. Resíduo do corte do mármore e granito.

## ABSTRACT

With the theme of sustainability in high these days, it becomes increasingly evident the need to develop techniques and materials that provide the development of the construction industry in partnership with the environment, even if it is not full agreement between them that the impacts caused by the same are the possible minimum. Thus this research, aimed to promote the improvement of an existing product, soil-cement wall with the use of a residue that generates big problems for the environment, the waste of the cutting marble and granite. In the mixture the residue was applied in substitution for a part of the sandy soil volume that was used in the work that this soil was taken from the region Delmiro Gouveia-AL. To this it was determined four lines, the first being only soil and cement, and the other three with the addition of the residue, 5%, 10% and 15% respectively. In all, 80 molded bricks 20 for each stroke, as indicated by the NBR 10833 and 20 of these 10 chosen to carry out the resistance tests to simple compression with 7 bricks and water absorption 3 bricks. All traces corresponded to the criteria of water absorption and resistance to compressive set NBR 8491, where no bricks had individual values of compressive strength lower than 1.7 MPa or higher water absorption than 22%. With the incorporation of the residue the mixture was observed a simple compressive strength of growth was 2.5 MPa, and this average value with 0% residue, to 2.85 MPa, and this average value 15% residue. Studies have shown that the use of the residue for the manufacture of soil-cement clinker is a good allocation to the residue of granite and marble cutting, and improve final product properties at a low cost.

Keywords: soil-cement bricks. Improvement. Residue of marble and granite cutting.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Caixa de Colocação do Material. ....	22
Figura 2: Medida de Retração .....	22
Figura 3: Bolinho sendo amassado e em seguida com as marcas dos dedos. ....	24
Figura 4: Bolinho sendo solto de uma altura aproximada de 1m e se despedaçar. ...	24
Figura 5: Resultados do ensaio de resistência à compressão. ....	26
Figura 6: Resultados do ensaio de absorção de água. ....	27
Figura 7: Blocos de pedras graníticas em dimensões padronizadas. ....	32
Figura 8: Vistas dos Teares na operação de corte dos blocos. ....	33
Figura 9: Processo de polimento das chapas brutas. ....	34
Figura 10: Tijolos identificados e em processo de cura. ....	36
Figura 11: Comportamento da média aritmética da resistência a compressão dos tijolos com 10% de cimento. ....	37
Figura 12: Resultados do ensaio de absorção de água, para cada traço. ....	38
Figura 13: Resultados dos ensaios com o concreto endurecido. ....	39
Figura 14: Resíduo do corte do mármore e granito. ....	41
Figura 15: Solo armazenado e parte do processo de quarteamento. ....	42
Figura 16: Amostra de 120g sendo pesada. ....	43
Figura 17: Algumas peneiras no agitador. ....	44
Figura 18: Amostra já homogeneizada, na concha do aparelho de Casa Grande. ...	45
Figura 19: 10g da amostra, já na forma de uma bola, começando a ser rolada na placa de vidro. ....	47
Figura 20: Prensa usada no trabalho. ....	49
Figura 21: Tijolos dentro da estufa. ....	50
Figura 22: Tijolos imersos em água para absorver umidade. ....	50
Figura 23: Preparação dos tijolos. ....	51
Figura 24: Tijolos já com a pasta de cimento em processo de endurecimento. ....	52
Figura 25: Tijolos, já preparados e armazenados para viagem. ....	53
Figura 26: Prensa Hidráulica, usada no ensaio de resistência a compressão simples. .....	53
Figura 27: Tijolo apos o rompimento. ....	54
Figura 28: Peneira de 4,75mm. ....	55
Figura 29: Pontos obtidos para determinação do limite de liquidez. ....	57



Figura 30: Amostra em forma de cilindro, fragmenta antes de atingir os 3mm de espessura. ....	58
Figura 31: Materiais já homogeneizados, prontos para receberem água.....	59
Figura 32: Traço 3, pronto para prensa.....	60
Figura 33: Mistura dentro do compartimento de armazenamento da prensa. ....	61
Figura 34: Exemplo de tijolo já moldado e prensado.....	62
Figura 35: Tijolos armazenados e em processo de cura.....	62
Figura 36: Curva de variação da resistência a compressão, em função da porcentagem de resíduo adicionado ao traço. ....	64
Figura 37: Comparação de resistência a compressão aos sete dias, com 10% de cimento. ....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados do Peneiramento. ....	56
Tabela 2: Dados obtidos com o ensaio de limite de liquidez.....	57
Tabela 3: Fator água cimento, usado em cada traço. ....	60
Tabela 4: Media dos valores de absorção de água e maior valor individual. ....	63
Tabela 5: Resistência a compressão média de cada traço e o menor valor individual. .....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
CAA	Concreto Alto adensável.
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora.
RCD	Resíduo de Construção e Demolição.
RCMG	Resíduo do Corte do Mármore e Granito.
LL	Limite de Liquidez.
LP	Limite de Plasticidade.

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	12
1.1	Objetivo Geral.....	13
1.2	Objetivos Específicos.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
2.1	Solo-Cimento .....	15
2.1.1	<i>Definição</i> .....	15
2.1.2	<i>Histórico</i> .....	15
2.1.3	<i>Características</i> .....	17
2.2	Tijolo de Solo-cimento .....	18
2.2.1	<i>Definição</i> .....	18
2.2.2	<i>Histórico</i> .....	19
2.2.3	<i>Características e seleção do solo</i> .....	20
2.2.4	<i>Dosagem, mistura e confecção dos tijolos</i> .....	23
2.2.5	<i>Vantagens</i> .....	24
2.2.6	<i>Potencial do Tijolo de Solo-cimento</i> .....	25
2.3	Resíduos Sólidos.....	27
2.4	Rochas Ornamentais .....	30
2.4.1	<i>Definição e Conceitos</i> .....	31
2.4.2	<i>Histórico e Importância</i> .....	31
2.4.3	<i>Resíduos de Corte do Mármore e Granito – RCMG</i> .....	34
2.4.4	<i>Pesquisas, que utilizaram o Resíduo de Corte do Mármore e Granito – RCMG</i> .....	35
3	METODOLOGIA .....	40
3.1	Materiais .....	40
3.1.1	<i>Solo</i> .....	40
3.1.2	<i>Cimento Portland</i> .....	40
3.1.3	<i>Resíduo de corte do Mármore e Granito</i> .....	41
3.1.4	<i>Água</i> .....	41
3.2	Métodos.....	41
3.2.1	<i>Solo</i> .....	42
3.2.2	<i>Tijolos de Solo-cimento</i> .....	47
4	Resultados.....	55
4.1	Solo.....	55
4.1.1	<i>Análise Granulométrica</i> .....	56
4.1.2	<i>Determinação do Limite de Liquidez</i> .....	56
4.1.3	<i>Determinação do Limite de Plasticidade</i> .....	58
4.2	Tijolos .....	59
4.2.1	<i>Confecção dos Tijolos de Solo-cimento</i> .....	59

4.2.2	<i>Teste de Absorção de água</i> .....	63
4.2.3	<i>Determinação da Resistência a Compressão simples</i> .....	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
5.1	Conclusões.....	66
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	67
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68

## 1 Introdução

Materiais e técnicas alternativas de construção são de grande importância para o desenvolvimento da construção civil. Por isso, pesquisas voltadas para os mesmos estão ganhando grande destaque e, principalmente, quando relacionadas a preservação do meio ambiente e ao reaproveitamento de resíduos, principalmente, porque já é possível observar que alguns desses podem ser utilizados com vantagens técnicas e econômicas. (FERRAZ, 2004).

Pode-se destacar o solo dentre os materiais de construção, por possuir uma enorme gama de aplicações, tendo uma boa facilidade de manuseio, ser abundante, fácil de se obter e ser de baixo custo, admitindo seu uso em grande escala na construção civil. Construções datadas de séculos passados, realizadas com derivados do solo, que vão de paredes a fundações, com estabilidade estrutural aceitável, boa resistência às intempéries, confirmam que este material é bastante eficiente (GRANDE, 2003).

O solo-cimento apresenta-se como uma variedade de construção em terra com aplicação bastante difundida. Sua utilização no Brasil, remota de 1940, na construção dos pátios do Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro, e de 1942, na construção da pista do aeroporto de Petrolina-PE. Em 1945, foi construída a primeira parede de solo-cimento nas casas de bomba para abastecimento das obras do aeroporto de Santarém/PA (SOARES *et al.*, 2004).

O emprego do solo-cimento em habitações no Brasil foi iniciado em 1948, com a construção das casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis, Rio de Janeiro (ABCP, 1985). Desde 1930, foram feitas experiências com solo-cimento no país. No final da década de 50, a mistura de solo e cimento estava totalmente aprovada no Brasil, passando a ser difundida como nova alternativa para baratear construções. A primeira casa construída em solo-cimento no país teve como responsável o Instituto del Cemento Portland Argentino (IPCA), uma vez que a Argentina divulgava a maneira correta de empregar o novo método construtivo (TAVEIRA, 1987).

A busca de novas soluções construtivas, o emprego viável de novas ferramentas, a reciclagem de resíduos, o déficit habitacional, o desenvolvimento sustentável e a eliminação do desperdício no canteiro de obras, por meio da

racionalização de materiais e mão-de-obra, são desafios a serem encarados por pesquisadores, engenheiros, arquitetos e a própria sociedade. Esse cenário faz com que novos materiais, ou ainda, materiais de elevado desempenho, e sistemas construtivos mais eficientes sejam os principais objetivos na tentativa de estabelecer uma relação saudável entre baixo custo e qualidade das obras, sem desprezar a cultura, a realidade de consumo e os limites dos trabalhadores da construção civil (GRANDE, 2003).

A produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento aumentou de 1,8 milhão t/ano, no ano de 1920, para uma taxa de 130 Mt/ano na atualidade. Com isso, por volta de 53,4 Mt de rochas brutas e beneficiadas fizeram parte do comércio internacional durante 2013. Em virtude desse elevado crescimento, no mercado mundial, as décadas de 1980 e 1990, ficaram conhecidas como a “nova idade da pedra” e o setor de rochas foi considerado um dos mais importantes, dentre os negócios que estavam crescendo no âmbito da indústria de mineração. Levando-se em conta o cenário mundial, pode-se estimar que o setor de rochas está gerando uma balança comercial de aproximadamente US\$ 130 bilhões por ano (ABRIROCHAS, 2014).

O reaproveitamento e a eliminação dos resíduos gerados pelas indústrias é um grande desafio para controlar os impactos ambientais. Dentre elas, temos as empresas que fazem o beneficiamento do mármore e granito, e isso faz com que os envolvidos com a área estudem o uso deste resíduo para aplicá-lo de forma favorável e, principalmente, dentro da indústria da construção civil (SAVAZZINI & ENGEL, 2007).

## **1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar algumas propriedades dos tijolos de solo-cimento produzidos com adição do resíduo de corte do mármore e granito (RCMG), produzido pela indústria de rochas ornamentais, e comparar o comportamento destes tijolos em relação às propriedades avaliadas.

## 1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, é necessário cumprir alguns objetivos específicos:

- Conhecer o processo de obtenção do solo-cimento.
- Conhecer o processo de fabricação dos tijolos.
- Conhecer, determinar e obter os materiais que serão usados.
- Definir e realizar os ensaios que serão feitos no trabalho.
- Analisar os resultados obtidos.



## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Solo-Cimento**

#### *2.1.1 Definição*

O solo-cimento é constituído pela combinação de solo, cimento Portland e água. Ele passa por um processo físico-mecânico de estabilização, sendo caracterizado pela estruturação, proveniente da reorientação pela qual as partículas sólidas do solo passam pela destituição de substâncias cimentantes nos contatos intragranulares, o que promove alterações na qualidade de cada uma das três fases – sólida, ar e água – que constituem o solo (MERCADO,1990).

#### *2.1.2 Histórico*

O solo-cimento foi empregado pela primeira vez em 1915, nos Estados Unidos, pelo engenheiro Bert Reno, que experimentou pavimentar uma rua com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland (GRANDE, 2003).

Sabe-se que o solo cimento torna-se mais vantajoso quando se é empregada uma certa energia de compactação, atribuindo propriedades mecânicas otimizadas. O engenheiro norte-americano Ralph Proctor publicou, em 1933, uma série de artigos sobre métodos de controle de compactação. Seus estudos enunciaram um dos mais importantes princípios da Mecânica dos Solos: que a densidade de um solo compactado é função do teor de umidade no momento de sua compactação (GRANDE, 2003).

Proctor percebeu que, para uma energia de compactação constante, ao se adicionar água ao solo, sua densidade aparente aumentava até certo ponto, chamado “umidade ótima”. Ao acrescentar teores de umidade acima da ótima, a densidade torna-se a reduzir, pois o excesso de água absorve parte da energia de compactação e a redistribui ao sistema, afastando as partículas sólidas (GRANDE, 2003).

A descoberta da técnica de compactação de solos permitiu um grande avanço nos estudos científicos de estabilização com cimento. Experiências realizadas pelo Departamento de Estradas e Rodagem da Carolina do Sul, nos Estados Unidos, em 1934, mostraram o quão promissor eram os resultados obtidos. Um produto endurecido que não se deteriorava sob a ação dos pneumáticos, nem se deformava em tempo úmido, não se desintegrava e nem formava lama (SILVEIRA, 2005).

A partir de 1935, a Portland Cement Association (PCA), o Bureau of Public Roads (BPR) e o Departamento de Estradas e Rodagens da Carolina do Sul construíram uma pista experimental com 2,5 km, próximo a Johnsonville, Carolina do Sul. Assim, foi possível confirmar a validade dos ensaios desenvolvidos no laboratório da PCA. Depois deste experimento, muitos estados americanos começaram a adotar o solo-cimento como um material de construção de pavimentos rodoviários (LIMA, 2006).

No Brasil, os estudos com solo-cimento tiveram sua valorização quando chega-se ao ano de 1930, onde seu uso foi regulamentado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). No ano de 1941, foi realizado um serviço de pavimentação completamente feito de solo-cimento no aeroporto de Petrolina/PE. Já em 1970 o uso de solo-cimento na pavimentação chegou a 7500 km no Brasil. O uso do solo-cimento teve seu início na construção de casas em 1948, onde foi utilizado na construção de duas casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis/RJ. Com o passar do tempo, estas obras continuaram em bom estado, o que comprovou a eficiência do solo-cimento e o processo construtivo (SOUSA et al, 2007).

Com o início dos anos 1960, o solo-cimento passou a ser pesquisado e aplicado com maior abrangência no mundo todo. No Brasil, a partir da década de 1970, o solo-cimento tornou-se objeto de intensas pesquisas, principalmente da ABCP, do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED) e no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (MERCADO, 1990).

O solo-cimento só foi largamente aplicado em moradias por volta de 1978, quando o antigo Banco Nacional da Habitação (BNH) confirmou que a técnica era viável para construções de casas populares. Na época, estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e pelo Centro de

Pesquisas e Desenvolvimento mostraram que, além do bom desempenho termo-acústico, o solo-cimento aplicado em construções levava a uma redução de custos de 20% a 40%, comparado com a alvenaria tradicional de tijolos de cerâmica ou barro (LIMA, 2006).

### *2.1.3 Características*

Segundo MERCADO (1990) o solo, além de ser o componente de carga, pode ser determinante na qualidade do produto final, dependendo de sua composição, na estabilização com cimento, tornando ou não viável do ponto de vista econômico, e ainda apresentar facilidades nos procedimentos de mistura e manuseio (moldagem e desmoldagem, peneiramento e homogeneização) para fins de construções de alvenarias.

A compactação adequada, por sua vez, é essencial para a obtenção de um solo-cimento satisfatório. Para compreender melhor esse parâmetro, é preciso saber da influência do teor de umidade na compactação, pois somente uma boa compactação pode garantir que o material atinja um determinado peso específico, ou densidade aparente, que lhe confira resistência mecânica apropriada para um determinado fim (GRANDE, 2003).

O solo-cimento é tido como uma evolução dos materiais de construção, comparado com a taipa de pilão, o adobe e o pau-a-pique. Estas técnicas tem como base o aglomerante natural (argila), podendo ter alguma adição (fibras, óleos, etc); no entanto, no solo-cimento, substitui-se parte do aglomerante natural por um artificial, de qualidades uniformes e conhecidas, que é o cimento portland (MYRRHA, 2003).

Compósito é um material formado por uma combinação de dois ou mais micro ou macro constituintes, que diferem na forma e na composição química, e que, na sua essência, são insolúveis entre si. Os compósitos podem ser classificados em compósitos reforçados com fibras, compósitos reforçados com partículas e compósitos estruturais. Assim, no ramo da construção civil, o compósito mais utilizado é o concreto de cimento portland e classificado como compósito com partículas, pois consiste em um agregado de partículas ligadas entre si por meio

de cimentação, onde o agregado é constituído por areia e brita, sendo que a cimentação se desenvolve pelo resultado das reações químicas entre o cimento e a água. O solo-cimento, em uma analogia com o concreto nas devidas proporções e resguardada as diferenças, pode ser classificado como compósito reforçado com partículas, onde a brita e a areia dão lugar ao solo e com uma quantidade bem menor de cimento Portland (CALLISTER, 2012).

O compósito solo-cimento é um produto bastante utilizado e consagrado em muitas obras e são vários os usos recomendados através da estabilização com o cimento, entre os quais podem ser citados: base ou sub-base de pavimentos em estradas, vias urbanas, pátios industriais, estacionamentos e aeroportos; tijolos, blocos e painéis para construção de moradias; revestimento de barragens, canais, diques e reservatórios; revestimento e impermeabilização de túneis; estabilização de encostas e taludes; reconstituição da fundação e calçamento de placas de concreto, além da melhoria de suporte em fundações fracas de pavimentos (PITTA, 1983).

O solo é o elemento que entra em maior teor no composto e ele deve ser escolhido de maneira que permita o uso da menor quantidade possível de cimento. Quando não houver disponibilidade de solos com as características citadas, alguns autores afirmam ser possível a utilização de dois ou mais solos, ou mesmo de adicionar areia grossa, de modo que o resultado seja favorável técnica e economicamente (FERRAZ, 2004).

É de grande importância destacar que a escolha do teor de cimento capaz de assegurar a estabilidade necessária e de garantir à mistura a permanência de suas características é, antes de tudo, uma imposição do critério de economia (FERREIRA, 2003).

## **2.2 Tijolo de Solo-cimento**

### *2.2.1 Definição*

O tijolo de solo-cimento é a compactação de um solo com as características definidas pela NBR 8492 (ABNT, 2013c), estabilizado com cimento, moldado com o uso de um prensa manual ou hidráulica, que atinge características de resistência à compressão e absorção de água aceitáveis para o uso em alvenaria.

### 2.2.2 Histórico

A fabricação de componentes de alvenaria de solo estabilizado tem sua evolução devido ao CENTRO INTERAMERICANO DE VIVENDA Y PLANEJAMENTO (CINVA), com sede na Colômbia, com a criação da “Prensa Cinva-Ram”. Trata-se de uma prensa manual para a produção de tijolos de solo-cimento compactados. (GRANDE, 2003)

Desde então, vários fabricantes desenvolveram prensas manuais e hidráulicas para a fabricação de diversos tipos de tijolos e blocos de solo-cimento compactado. Mas, poucos daqueles fabricantes conseguiram permanecer no mercado, pois se constatou um abandono dessa tecnologia devido a um preconceito em relação ao material (GRANDE, 2003).

Atualmente o uso do tijolo de solo-cimento está passando por uma espécie de boom na construção civil, devido as suas características ecológicas e econômicas. Implantado normalmente em edificações de baixo custo, como projetos do programa *Minha Casa Minha Vida*, e outros projetos de casas populares, além da moda ecológica, que influencia hoje toda a construção civil no mundo, com os selos verdes e certificações, o tijolo passou a ser mais evidenciado, e, com isso, mais pesquisado (REZENDE 2013).

Um grande ponto positivo da construção com o solo-cimento é o uso de vários tipos de solos para a fabricação dos tijolos, podendo obter vantagens na sua utilização, sendo eles produzidos e utilizados na própria obra. As ferramentas utilizadas são relativamente simples e possuem um baixo custo. Com isso, temos uma grande redução nas despesas com o traslado, gasto de energia, quantidade de mão-de-obra e encargos agregados ao seu valor final. Ainda é possível destacar que o tijolo de solo-cimento também é apreciado por uma ótica ecológica, já que a fase de queima utilizada em outros tipos de tijolos cerâmicos é descartada. Assim, temos uma grande vantagem ambiental por não consumir as elevadas quantidades de óleos combustíveis e madeira, o que é necessário em outros processos produtivos (SOUSA et al, 2007).

### 2.2.3 Características e seleção do solo

Para se obter o produto final, utilizamos três materiais: solo, cimento e água. Com o uso destes materiais, podemos chegar a características análogas as do tijolo convencional, sem função estrutural, como, por exemplo, a resistência à compressão (FERRAZ, 2004).

O tijolo de solo-cimento apresenta-se como uma das possíveis alternativas para a construção de alvenaria. Tendo em vista um pequeno período de cura, consegue-se atingir resistência à compressão simples semelhante à dos tijolos cerâmicos, podendo ser superior, dependendo da quantidade de cimento acrescentado, destacando que esta quantidade deve ser limitada de forma que o tijolo atinja a qualidade desejada sem elevação de seu custo (ABCP, 2000).

A característica padrão de produção de acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2013a), é a utilização de solos que possuem limite de liquidez menor ou igual a 45% e índice de plasticidade menor ou igual a 18%, com 100% de passagem na peneira nº4 e de 10% a 50% na peneira nº 200. O cimento a ser colocado no solo, para a confecção do tijolo de solo-cimento depende da requisição do projeto, podendo ser usados aditivos ou resíduos. Os tijolos devem ser curados por 7 dias na sombra, e ensaiados de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2013c). As condições para aceitação do material estão incluídas na NBR 8491 (ABNT, 2013b), sendo que a media mínima para resistência à compressão é de 2,0 MPa com 7 dias de cura, não devendo ter valor individual inferior a 1,7 MPa; e a absorção média de água não deve ser maior que vinte por cento.

A qualidade do tijolo de solo-cimento prensado é função do empacotamento dos grãos do solo depois de compactado. O material resultante tem baixa porosidade e alta densidade. O equipamento utilizado para a moldagem do tijolo desempenha papel fundamental na taxa de compactação do material (GRANDE, 2003).

Conforme ABCP (2000) e a maioria dos estudiosos do material, o solo é o material de maior quantidade na mistura, e deve ser analisado, para que se chegue ao menor teor de cimento possível. Para isso alguns critérios devem ser atendidos para que o solo seja considerado adequado à fabricação dos tijolos, sendo eles:

- passante na peneira ABNT 4,8 mm (n°4) .....100%
- passante na peneira ABNT 0,075 mm (n°200) .....10% a 50%
- limite de liquidez .....≤45%
- índice de plasticidade .....≤18%

Segundo ABCP (2000), o processo de fabricação do tijolo de solo-cimento prensado corresponde às seguintes etapas:

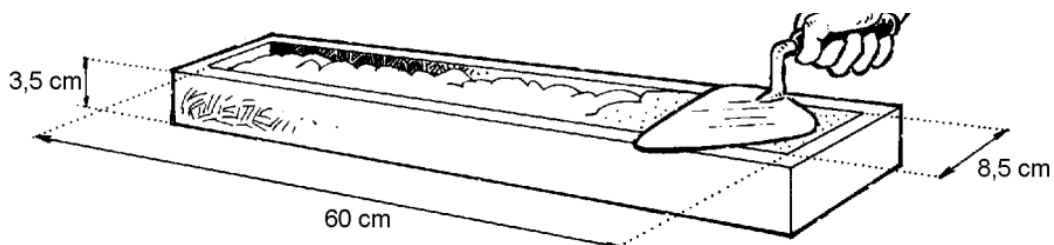
- **preparação do solo:** que consiste em destorroar e peneirar o solo seco;
- **preparação da mistura:** adiciona-se o cimento ao solo preparado e realiza-se uma mistura com os materiais secos. Após a homogeneização, adiciona-se água e mistura-se novamente o material até uniformizar a umidade no solo;
- **moldagem dos tijolos:** a mistura é colocada na prensa;
- **cura e armazenamento:** após 6 horas de moldados e durante os 7 primeiros dias, os tijolos devem ser mantidos úmidos por meio de sucessivas molhagens.

ABCP (2000) destaca o uso de algumas normas para a seleção do solo para fabricação de tijolos, que deve ser feito por ensaios de laboratório; caso não seja possível realizar tais ensaios, existem testes práticos que serão descritos um pouco mais a diante. As normas necessárias são:

- NBR 6457 - Preparação de Amostra de Solo para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização;
- NBR 6508 - Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solos;
- NBR 6459 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez;
- NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade;
- NBR 7181 - Solo - Análise Granulométrica.

ABCP (2000) ainda descreve o teste prático abaixo (ensaio da caixa), que consiste na medida da retração, tendo ele os seguintes passos:

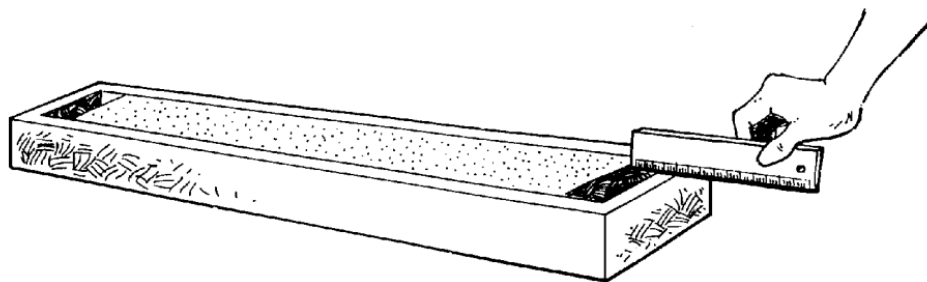
- toma-se aproximadamente 4,5 kg de solo destorroado e peneirado (recomenda-se a peneira de 4,8 mm de abertura de malha);
- adiciona-se água aos poucos, até que o solo adquira a consistência de argamassa de reboco;
- coloca-se o material numa caixa de madeira, com dimensões internas de 60,0 cm x 8,5 cm x 3,5 cm (Figura 1), previamente lubrificada, distribuindo-o uniformemente com a colher de pedreiro até preencher todo o volume interno da caixa, rasando a superfície com uma régua de madeira;



**Figura 1: Caixa de Colocação do Material.**

Fonte: ABCP (2000)

- levanta-se e deixa-se cair uma das extremidades da caixa, de uma altura aproximada de 7 cm (quatro dedos), por dez vezes; repetir a mesma operação com a outra extremidade;
- guarda-se a caixa ao abrigo do sol, da chuva e do vento, durante 7 dias;
- após este período, faz-se a medida da retração (Figura 2) no sentido do comprimento da caixa. Se a retração total não ultrapassar 2 cm e não aparecerem trincas na amostra, o solo poderá ser utilizado; caso contrário, pode-se adicionar-lhe areia até obter uma mistura que se enquadre nessa especificação.



**Figura 2: Medida de Retração**



Fonte: ABCP 2000

#### 2.2.4 Dosagem, mistura e confecção dos tijolos

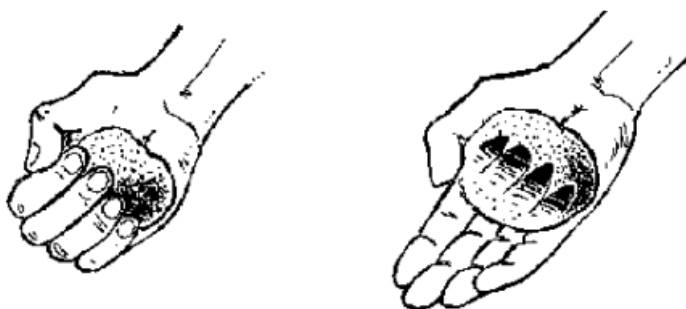
Para a dosagem, ABCP (2000) faz a recomendação de que sejam moldados tijolos com proporções, em volume, de cimento e solo de 1:10, 1:12 e 1:14. A escolha do “traço adequado” deve ser aquele em que foi utilizado a menor quantidade de cimento e foram atendidos os critérios de resistência à compressão e absorção de água estabelecidos na NBR 8491 (ABNT, 2013b).

Segundo a NBR 8491 (ABNT, 2013b), a resistência à compressão deve apresentar um valor médio maior ou igual a 2 MPa e um valor individual maior ou igual a 1,7 MPa. Para o critério de absorção de água, ela delimita um valor médio máximo de 20% e individual máximo de 22%.

Geralmente, a mistura é feita de forma manual. É realizado um procedimento para quebrar os torrões do solo. Em seguida o solo é peneirado sobre uma superfície limpa e lisa e espalhado em camadas que não ultrapassem 20 cm de espessura. Logo após, espalha-se o cimento sobre o solo. Com ajuda de enxadas, pás ou outra ferramenta apropriada, é feita a mistura do solo com o cimento, misturando-se o máximo possível para se obter uma mistura de coloração homogeneia. Em seguida é adicionada água aos poucos até que se chegue à umidade desejada.

Para verificar se a umidade esta adequada, ABCP (2000) recomenda um procedimento prático, que consiste no seguintes passos:

- a) Pega-se um pouco do solo-cimento já umedecido, aperta-se com a mão; quando abrir a mão a marca dos dedos devera ficar no bolinho formado Figura 3.



**Figura 3: Bolinho sendo amassado e em seguida com as marcas dos dedos.**

Fonte: ABCP 2000

- b) Em seguida, eleva-se o bolo a uma altura de aproximadamente 1 m e solta-o; quando ele chegar ao chão ele deve se despedaçar totalmente (Figura 4); quando ele não se despedaçar totalmente, é porque a umidade esta muito alta.



**Figura 4: Bolinho sendo solto de uma altura aproximada de 1m e se despedaçar.**

Fonte: ABCP 2000

### 2.2.5 Vantagens

Este material possui diversas vantagens sobre o tijolo cerâmico, que incluem um custo mais baixo, facilidade de manuseio, menor agressividade ao meio

ambiente (pois dispensa a queima em fornos), possibilidade de ser produzido no próprio local da obra (já que seus equipamentos de produção são pequenos e funcionais), dispensam técnicas avançadas para operação, tem maior durabilidade e segurança, estruturalmente falando, e por ser modular, possui menor taxa de desperdício no fim da obra (REZENDE, 2013).

Segundo ABCP (2000) podemos destacar como grandes vantagens do tijolo de solo-cimento alguns itens que estão descritos abaixo:

- a) Na maioria das vezes pode ser produzido com o solo da própria região onde se pretende fabricá-lo, o que ajuda de forma positiva no custo que se teria com o transporte de solo.
- b) O equipamento tem um baixo custo e é relativamente simples de ser utilizado.
- c) Não é necessária a queima, logo, é dispensado o uso de combustíveis.
- d) Sendo executada uma boa proteção para se evitar a chuva diretamente, não é preciso revestimento; sendo assim, pode ser usado em paredes à vista.
- e) Os colaboradores que vão ser usados na sua fabricação não precisam ter uma grande qualificação.
- f) Se comparado ao tijolo cerâmico ele possui um resistência a compressão simples bem parecida.

#### *2.2.6 Potencial do Tijolo de Solo-cimento*

Como grande vantagem dos tijolos de solo estabilizado temos a possibilidade de incorporar outros materiais na sua fabricação, como, por exemplo, agregados produzidos com entulho reciclado e rejeitos industriais (sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto-fornos, finos de serrarias e outros). Além disso, por não ser necessária a queima de tijolo, há uma expressiva redução do consumo de energia e, por consequência, de danos ambientais na sua fabricação (GRANDE, 2003).

Desde seu surgimento, vários pesquisadores vêm realizando estudos para melhorar a qualidade do tijolo de solo-cimento, não apenas para torná-lo mais resistente, mas também conseguir sua produção de uma maneira mais econômica, associada ao desenvolvimento sustentável. No que tangencia a sustentabilidade, a incorporação de resíduos de construção e demolição é de grande interesse não só para o mercado da construção civil como também para a população como um todo.

Neste tópico será mostrado um estudo sobre a incorporação de resíduos ao tijolo de solo-cimento, o que muitas vezes pode trazer uma destinação para resíduos que até então eram apenas descartados ou destinados a fins menos nobres, mesmo sendo resíduos de grande potencial e são usados para aterro, por exemplo.

Amaral (2014) realizou estudos, adicionando cinzas de bagaço de cana-de-açúcar na mistura de solo-cimento, substituindo parte do cimento, para a fabricação de tijolos de solo-cimento. Nesse estudo foram moldados corpos de prova contendo 0%, 10%, 20% e 30% do resíduo em peso, substituindo o cimento, e foram curados dentro de uma câmara umidade durante 28 dias.

As figuras abaixo (Figura 5 e Figura 6) apresentam os resultados encontrados na pesquisa.

Traço	Resistência à compressão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
A <sub>0</sub>	3,80 ± 0,08	13,16
A <sub>10</sub>	3,64 ± 0,03	4,37
A <sub>20</sub>	3,56 ± 0,03	5,36
A <sub>30</sub>	3,55 ± 0,06	7,71

**Figura 5: Resultados do ensaio de resistência à compressão.**

Fonte: Amaral (2014).

Traço	Absorção de água (%)	Coefficiente de variação (%)
A <sub>0</sub>	9,7 ± 0,2	9,69
A <sub>10</sub>	10,2 ± 0,1	5,12
A <sub>20</sub>	9,3 ± 0,3	19,86
A <sub>30</sub>	7,0 ± 0,2	13,10

**Figura 6: Resultados do ensaio de absorção de água.**

Fonte: Amaral (2014)

Com os resultados obtidos, pode-se notar que houve uma redução da resistência a com compressão, à medida que se aumentou a quantidade de resíduo, mas, mesmo assim, não chegou a valores menores do que o exigido pela norma. A absorção de água também diminuiu, o que é bom, pois viabiliza o uso do resíduo, podendo ele ser utilizado como uma matéria prima de baixo custo na mistura e ainda se obter vantagem técnica no produto final.

### 2.3 Resíduos Sólidos

Resíduos sólidos são rejeitos resultantes das diversas atividades humanas. Podem ser de diversas origens: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de limpeza de vias públicas e outras. A intensificação das atividades humanas nas cidades tem gerado um acelerado aumento na produção de resíduos sólidos, que constituem um grande problema para a administração pública (VORONKOFF, 2011).

Segundo a norma técnica NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos são os que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, além de certos efluentes com características inviáveis para lançamento na rede pública ou outros corpos de água. De acordo com a norma, os resíduos são divididos em 3 classes:

- Classe I ou perigosos: são aqueles que, isoladamente ou por mistura, em função de suas características de toxicidade, inflamabilidade, corrosidade, reatividade, radioatividade e patogenicidade em geral, podem apresentar riscos à saúde pública (com aumento de mortalidade ou de morbidade) ou efeitos adversos ao meio ambiente, se manuseados ou dispostos sem os devidos cuidados.
- Classe II A ou não inertes: são aqueles que não se enquadram na classe I e não são inertes, podendo apresentar algumas propriedades, como solubilidade em água, biodegradabilidade e combustibilidade.
- Classe II B ou inertes: são aqueles que não se solubilizam ou que não tem nenhum de seus componentes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, quando submetidos a um teste padrão de solubilização, conforme NBR 10006 - “Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos” (ABNT, 2004a).

Dentro deste contexto, temos o entulho, resíduos da construção civil, provenientes de demolições e restos de obras, solos de escavações entre outros. O entulho é geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento.

A Resolução nº. 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2002), traz uma definição para tais resíduos, sendo eles derivados de reparos, reformas, construções e demolições, estando inclusos também os provenientes do preparo e da escavação de terrenos, como, por exemplo: solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, forros, gesso, argamassa, pavimento asfálticos, tubulações, fiação elétrica, vidros, plásticos e outros, que são usualmente classificados como metralhas e entulhos.

A caracterização deve considerar uma classificação prévia. De acordo com a resolução anteriormente mencionada, os RCDs são classificados da seguinte forma:

- Classe A - resíduos recicláveis ou reutilizáveis como agregados, sendo eles:
  - a) de reformas, demolição, reparos, construção de pavimentação, estando inclusos solos gerados em terraplenagem e diferentes obras de infraestrutura;

- b) de reformas, demolição, reparos, construção de edificações: elementos cerâmicos (blocos, placas de revestimento, tijolos etc.), concreto e argamassa;
- c) de demolição de peças pré-moldadas em concreto ou processos de fabricação (blocos, tubos, meios-fios etc.) gerados nos próprios canteiros de obras;
- Classe B - resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C - esta classe é composta por resíduos nos quais ainda não se tem nenhuma aplicação ou tecnologias que sejam viáveis do ponto de vista econômico para que possa haver recuperação ou reciclagem, tendo como exemplo o gesso e seus sub produtos;
- Classe D - esta classe é composta por resíduos perigosos provenientes do processo construtivo, como por exemplo: solventes, tintas, óleos, tintas e os que estão contaminados provenientes de reformas, demolições e reparos de instalações industriais, clínicas radiológicas e outros, tais como objetos, telhas e materiais que contenham amianto e produtos que sejam nocivos à saúde.

Para melhorar o conhecimento, facilitar e normalizar os RCDs, LIMA (1999), desenvolveu uma proposta para classificar os resíduos de construção e demolição incluídos na classe A, visto que eles representam o maior potencial para reciclagem e a maior parte dos resíduos gerados. A proposta de subdivisão da classe A dada por LIMA (1999), ficou da seguinte forma:

- Classe 1 - Resíduos provenientes do concreto que não contenham impurezas, compostos que sejam formados apenas de concreto estrutural, armado ou simples, com pequenas quantidades de alvenaria, impurezas e argamassa (terra, vidro, gesso, papel, vegetação, etc.);
- Classe 2 – Resíduos provenientes de alvenaria que não contenham impurezas, composto que sejam formados apenas argamassas, concreto e alvenaria com a presença de outros materiais inertes, como pedra britada e areia, com quantidades limitadas de impurezas;

- Classe 3 - Resíduos provenientes de alvenaria sem a presença de materiais cerâmicos e que não contenham impurezas, formados estritamente por concreto, argamassa e alvenaria de componentes de concreto, que contenham outros materiais inertes, como pedra britada, areia, fibrocimento, com pequenas quantidades de impurezas;
- Classe 4 - Resíduos provenientes de alvenaria com presença de vegetação e terra: composto estritamente pelos materiais do resíduo descrito na Classe 2, mas admitindo a presença de vegetação ou terra até certa quantidade, em volume. Uma quantidade de impurezas maior do que o encontrado nas classes acima é tolerado;
- Classe 5 - Resíduos formado por vegetação e terra, estritamente, com quantidades acima do admitido no resíduo da Classe 4. Essa classe de resíduos permite presença de alvenarias, argamassas e concretos, e de outros materiais inertes, como fibrocimento, pedra britada e areia. As quantidades de impurezas são maiores do que as permitidas nas outras classes.
- Classe 6 - Resíduo formado em sua maior parte por material asfáltico com restrições para outras impurezas, como vidros, vegetação, terra, gesso, argamassas, alvenarias, e outros.

O resíduo utilizado nesta pesquisa, se enquadra nos resíduos industriais, classe II A, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004a) e na classe A, definida pela resolução do CONAMA. No que diz respeito a classificação de LIMA (1999), não é possível classifica-lo, em virtude da especificidade dos resíduos de cada classe.

## **2.4 Rochas Ornamentais**

A indústria da construção civil movimentada de forma direta e indireta outros mercados, de forma que seu desenvolvimento interage de forma proporcional, como é o caso da indústria de rochas ornamentais, que vem movimentando uma boa parcela da economia.



#### *2.4.1 Definição e Conceitos*

As rochas ornamentais podem ser definidas como pedras naturais passíveis de extração, como um bloco, e de desdobramento e corte, em chapas e placas, segundo medidas e formas comercialmente especificadas e susceptíveis, a posteriori, a processos industriais de acabamento que contemplam, principalmente, o polimento, ou outras técnicas (apicoamento e flameamento), de alguma de suas superfícies. (MME, 2009)

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se neste caso os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, dentre outros. (MME, 2009)

Visando a ótica comercial, elas podem ser divididas em mármore e granitos. No caso dos mármore, entram as rochas carbonáticas; já os granitos basicamente são feitos de rochas silicáticas. Alguns outros tipos litológicos, como os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias, também são muito importantes setorialmente. (MME, 2009)

#### *2.4.2 Histórico e Importância*

A partir da década de 1990, o Brasil experimentou um notável avanço na produção e exportação de rochas ornamentais, com excepcional fortalecimento de toda a sua cadeia produtiva. Além disso, os mais recentes desenvolvimentos na lavra e no beneficiamento estão ligados principalmente às exportações. Hoje, o Brasil já está incluído no grupo dos grandes produtores e exportadores mundiais, atuando ativamente no mercado global (ABIROCHAS, 2013).

A importância do setor de rochas ornamentais e de revestimento pode ser medida quando se verifica que a produção global de suas matérias-primas evoluiu

de 1.800.000 toneladas por ano, na década de 1920, para 115.000.000 de toneladas em 2011. O expressivo crescimento do mercado internacional nas décadas de 1980, 1990 e 2000 caracterizou este período como a nova idade da pedra, destacando a indústria de rochas ornamentais como uma das mais importantes áreas emergentes de negócios minero-industriais. As atividades de processamento industrial tendem a se concentrar nos países produtores, incrementando as transações internacionais com produtos acabados e semiacabados de mais alto valor agregado (ABIROCHAS, 2013).

O beneficiamento do mármore e granito é composto de três etapas. A primeira delas é responsável pela retirada dos blocos a céu aberto, como pode ser visto na figura 7, nas grandes jazidas, iniciando-se pela seleção da melhor jazida (MOTA, 2010).



**Figura 7: Blocos de pedras graníticas em dimensões padronizadas.**

Fonte: LISBÔA 2004.

Na segunda, é feito o desdobramento dos blocos, ou fase de beneficiamento primário, como também é conhecido. Nos locais específicos, que possuem serrarias especializadas, ocorre à transformação dos blocos em chapas com espessuras padrões de 10 mm, 20 mm ou 30 mm, com a utilização de máquinas de corte apropriadas, denominadas teares, como pode ser visto na figura 8 (MOTA, 2010).



**Figura 8: Vistas dos Teares na operação de corte dos blocos.**

Fonte: LISBÔA 2004.

A etapa final é a transformação das placas em produto final através do uso de equipamentos chamados politrizes. É realizado o levigamento (uniformização da superfície), polimento, lustração, corte e acabamento de maneira a se adequar com as especificações que o produto final requer, como pode ser visto na figura 9 (MOTA, 2010).



**Figura 9: Processo de polimento das chapas brutas.**

Fonte: LISBÔA 2004.

#### 2.4.3 Resíduos de Corte do Mármore e Granito – RCMG

Os impactos causados pelas empresas de mineração especializadas em rochas ornamentais podem ser divididos em três. O primeiro deles é constatado logo na fase de pesquisa mineral, que está relacionado a problemas hidrológicos, por conta do desmatamento; posteriormente, uma grande quantidade de resíduos é gerada durante a retirada dos blocos de rochas. Por último, os resíduos gerados pelo uso dos teares, que também englobam uma boa porcentagem, e é o que está mais próximo das cidades, por ser gerado também nas marmorarias (LISBÔA, 2004).

As atividades relacionadas à extração e beneficiamento de rochas ornamentais promovem um grande crescimento econômico no país. Porém, acarretam graves consequências ambientais nos resíduos sólidos gerados, sendo sua reciclagem e uso na construção civil uma boa alternativa na mitigação do

impacto e na otimização de soluções visando o desenvolvimento sustentável do setor (SAVAZZINI & ENGEL, 2007).

A produção de rochas ornamentais, na maioria das empresas brasileira, é feita a partir da serragem, em chapas de grandes blocos de pedra, com o uso dos teares. Na serragem, cerca de 25% a 30% do bloco é transformado em pó, que é depositado nos pátios das empresas. No Brasil, a quantidade estimada da geração conjunta do resíduo de corte de mármore e granito é de 240.000 toneladas/ano, distribuídas entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros estados (WASHINGTON et al, 2002).

Engenheiros que trabalham no setor de rochas ornamentais, estimam que em Maceió se atinja as 1.600 toneladas/mês de RCMG. Com uma quantidade considerável como esta, pode-se observar uma boa viabilidade do aproveitamento do resíduo, tendo um ponto de vista tecnológico, já que a produção daria conta de um demanda que poderia surgir. Por sua vez, pela ótica ecológica, com a diminuição de um resíduo que seria descartado, que traz prejuízos para o meio ambiente. (LISBÔA, 2004).

#### *2.4.4 Pesquisas, que utilizaram o Resíduo de Corte do Mármore e Granito – RCMG.*

MIRANDA (2007) realizou uma pesquisa sobre a viabilidade técnica da aplicação de resíduo de beneficiamento de mármore e granito em tijolos de solo-cimento, com o intuito de aumentar a eficiência do material. No seu estudo, adicionou-se o cimento e o resíduo em função da massa de solo. Ele realizou testes com a variação do teor de cimento em 5%, 10% e 15% e uma variação do teor de resíduo de 0%, 10%, 15% e 30% de resíduo.

Ele confeccionou um total de 144 peças de corpos-de-prova cilíndricos para as porcentagens de resíduo estudada, onde seis corpos de prova serviram para o estudo da absorção de água e seis para a determinação da resistência à compressão. Dos corpos de prova produzidos, três foram avaliados aos sete dias de idade e os três que restaram aos 28 dias. Também foram fabricados mais 144 tijolos

de solo-cimento (figura 10) e realizados os mesmos testes pelos quais os corpos-de-prova passaram.



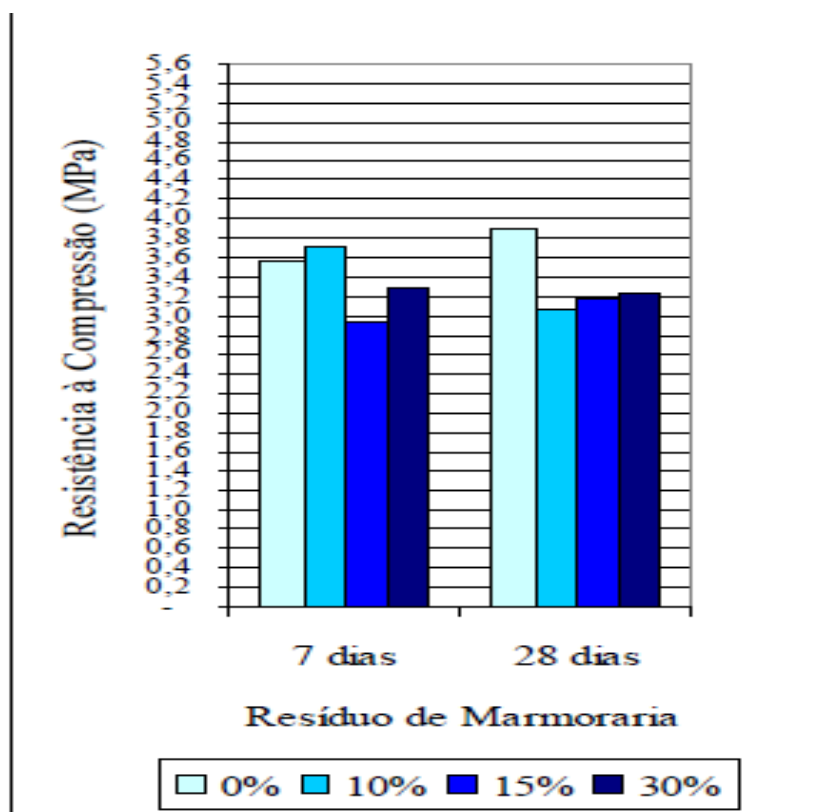
**Figura 10: Tijolos identificados e em processo de cura.**

Fonte: MIRANDA 2007.

Assim, ele constatou que, com o aumento do teor de cimento e do resíduo, aconteceu certa redução dos valores de absorção de água dos corpos-de-prova cilíndricos. Já no tocante à resistência à compressão, os corpos-de-prova onde foram adicionados 15% de resíduo tiveram os mais altos resultados de resistência à compressão.

Da mesma forma, foram analisados os tijolos de solo-cimento, para verificar a absorção de água e à resistência à compressão, onde foi possível concluir que os resultados dos corpos-de prova cilíndricos foram inferiores aos dos tijolos por conta do grau de compactação que era aplicado na moldagem dos cilindros. Então foi constatado que os tijolos confeccionados com os valores de 10% e 15% de cimento superam os valores mínimos estabelecidos na NBR 8491, (ABNT, 2013b), no que diz respeito à resistência à compressão simples e a capacidade de absorção de água.

Na Figura 11 temos alguns resultados dos ensaios de resistência a compressão simples, dos tijolos de MIRANDA (2007).

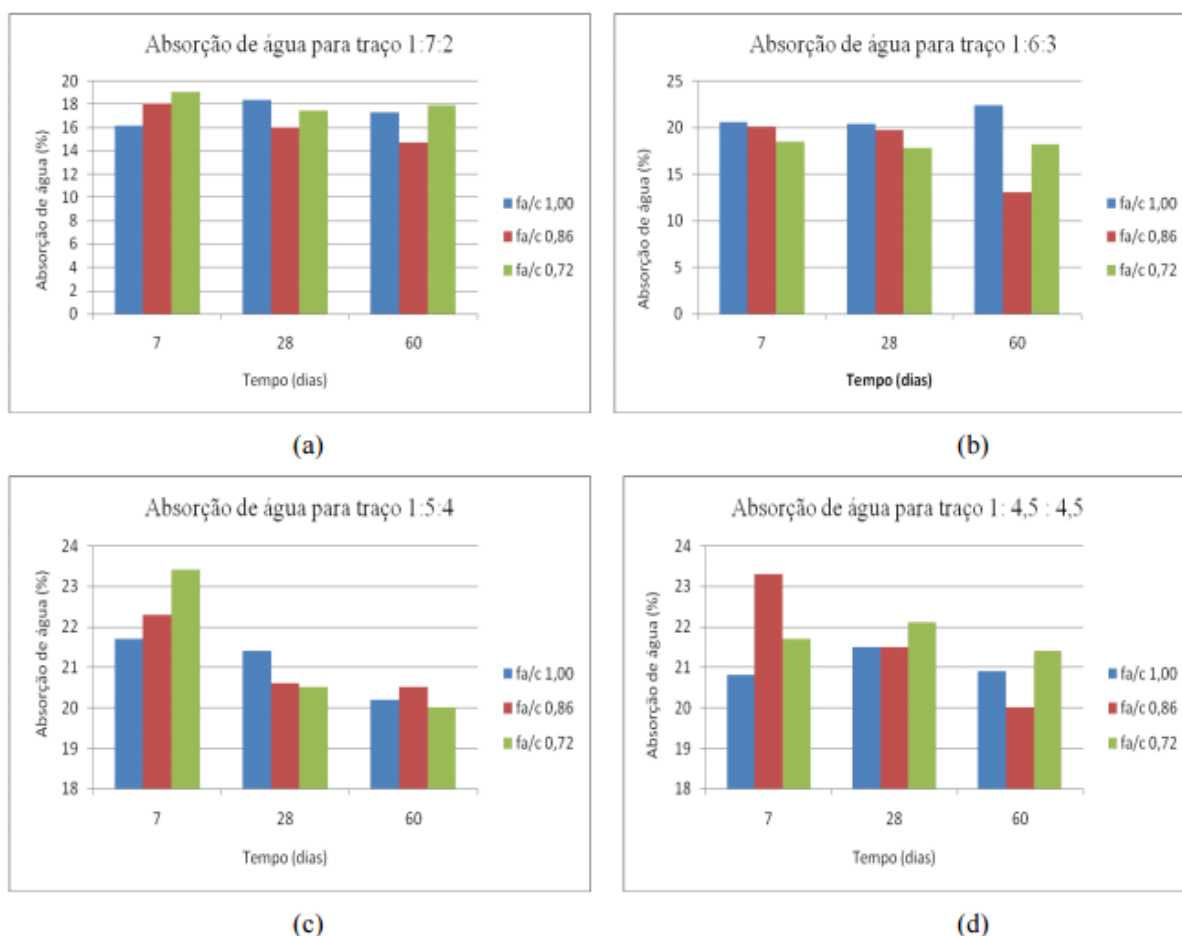


**Figura 11: Comportamento da média aritmética da resistência a compressão dos tijolos com 10% de cimento.**

Fonte: MIRANDA 2007.

Mota et al. (2010) realizou estudos sobre o uso do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento, visando incorporar a maior proporção possível do resíduo, seguindo os padrões técnicos existentes. Para isso, ela determinou o teor de absorção de água de cada tijolo e observou por uma ótica econômica que a mistura de traço 1:6:3 (cimento:solo:resíduo) teve melhor desempenho com o fator água/cimento 0,72, onde foi capaz de atingir uma absorção de água inferior a 20%, e teve uma quantidade considerável do resíduo em sua composição, chegando aos 30%.

A figura 12 demonstra os resultados obtidos por Mota et al. (2010), para cada traço utilizado na pesquisa.



**Figura 12: Resultados do ensaio de absorção de água, para cada traço.**

Fonte: Mota et al. (2010).

Lisbôa (2004) usou, em sua dissertação, a obtenção do concreto auto adensável (CAA) utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas. Sabendo que o CAA precisa de uma alta quantidade de finos na sua composição e como o resíduo tem como característica sua finura, ele utilizou dessa vantagem para tentar contribuir com o avanço da tecnologia e desenvolvimento sustentável do concreto. Realizando os ensaios que são pertinentes ao CAA, ele chegou a conclusão de que é viável, do ponto de vista técnico e econômico, utilizar o RCMG na produção de CAA.

A figura 13 mostra alguns dos resultados obtidos por LISBÔA (2004).



Resistência à compressão ( $f_c$ – MPa) – C.P. cilíndricos de 10cm x 20cm (28 dias)						
C.P.	1	2	3	4		
$f_c$	39,5	42,4	40,8	41,9		
D (%)	-4,1	+2,9	-1,0	+1,7		
Média – 41,2						
Ensaio aos 28 dias (MPa) – C.P. cilíndricos de 15cm x 30cm						
N° CP	Resistência à compressão		Módulo de deformação estática		Tração na compressão diametral	
	$f_c$	D (%)	$E_c$	D (%)	$f_{tD}$	D (%)
1	35,8	-3,5	40342	+12,2	3,16	+3,9
2	38,4	+3,5	36121	+0,5	2,73	-10,2
3	37,0	-0,3	31377	-12,7	3,24	+6,6
4	37,0	-0,3	-	-	-	-
Média	37,1		35947		3,04	

**Figura 13: Resultados dos ensaios com o concreto endurecido.**

Fonte: LISBÔA 2004.

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo serão apresentados os métodos e materiais que foram empregados para desenvolver a pesquisa .

#### **3.1 Materiais**

##### *3.1.1 Solo*

O primeiro passo foi escolher o melhor solo para a fabricação dos tijolos de solo-cimento, sendo considerado na seleção, que este solo teria o menor custo, seria da região, para que a distância de transporte fosse a menor possível e com a menor agressão possível ao meio ambiente.

O solo utilizado trata-se de um solo arenoso, que foi fornecido como forma de patrocínio para um projeto da disciplina de Engenharia do Produto 1, ofertada no curso de Engenharia de Produção, pela prefeitura da cidade de Delmiro Gouveia e é proveniente de uma fazenda que fica nas proximidades de Delmiro.

A quantidade de solo fornecida foi próxima dos 12 m<sup>3</sup>, que é a capacidade de transporte do veículo utilizado. Segundo informações do motorista, o solo foi retirado de uma jazida que já vinha sendo utilizada a um bom tempo e que sua profundidade ultrapassa os dois metros, o que nos ajuda a garantir o mínimo de matéria orgânica possível. O solo foi deixado na entrada do campus, a beira da rodovia AL 145.

Em seguida, o solo foi transportado para o Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Alagoas, Campus do Sertão, onde foi realizado o quarteamento, para redução da amostra e ter a melhor representação possível do solo e obter resultados mais confiáveis nos testes e, por fim, armazenado em baldes e caixa de papelão, para aguardar os testes.

##### *3.1.2 Cimento Portland*

O cimento empregado no trabalho foi o cimento Portland com adição de filler, CP II-F-32, de marca Cimento Nacional, comprado no comércio local. Para escolha do cimento, foi levada em consideração a simples disponibilidade no mercado.

### 3.1.3 Resíduo de corte do Mármore e Granito

O RCMG (Figura 14) foi coletado em uma marmoraria, situada na cidade de Arapiraca-AL, que usa como matéria prima chapas de mármore e granito já beneficiadas para a confecção de peças para a construção civil e para isso as grandes chapas são cortadas e moldadas até que se chegue a peça desejada.



Figura 14: Resíduo do corte do mármore e granito.

Fonte: Autor

### 3.1.4 Água

A água potável empregada em todos os procedimentos da pesquisa foi retirada da rede de abastecimento público de Delmiro Gouveia-AL.

## 3.2 Métodos

Os métodos e ensaios definidos para esta pesquisa, seguiram as recomendações da NBR 10833, (ABNT, 2013a), que descreve o que é necessário para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento em prensa manual ou hidráulica.

### 3.2.1 Solo

O solo destinado aos ensaios foi preparado de acordo com a NBR 6457, (ABNT, 1986), que define o método para preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização (análise granulométrica, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, entre outros.). Por meio de uma análise tátil visual foi identificado que trata-se de um solo arenoso.

Primeiramente, o solo foi secado ao ar até próximo da umidade higroscópica; em seguida espalhou-se a amostra e foi feito um desmanche dos torrões e homogeneização. Como não se tinha um repartidor de amostras, o processo de redução do material, até que fosse obtida uma amostra que representasse todo o material e em quantidade suficiente para os ensaios foi feito por meio do quarteamento (figura 15).



**Figura 15: Solo armazenado e parte do processo de quarteamento.**

Em seguida, a amostra quarteada foi passada na peneira de abertura 4,75 mm, para se ter os resultados necessários para a análise da quantidade de material necessário para os ensaios e para verificação do requisito da NBR 10833, (ABNT, 2013a), que determina que 100% do material deve passar na peneira. O material selecionado foi levado ao laboratório de materiais do Instituto Federal de Alagoas, Campus de Palmeira dos Índios, para a realização dos mesmos.

### 3.2.1.1 Ensaio de Granulometria do solo

O ensaio de granulometria foi feito, seguindo os requisitos da NBR 7181, (ABNT, 1988a), que prescreve o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento.

Para o ensaio de granulometria foi separada uma amostra de 120 g do solo (figura 16) que passou na peneira de abertura 2 mm para então ser colocado nas peneiras.



**Figura 16: Amostra de 120g sendo pesada.**

Fonte: Autor.

Chegando ao laboratório do IFAL, foram separadas as peneiras de abertura 1,2 mm, 0,6 mm (600  $\mu\text{m}$ ), 0,42 mm (420  $\mu\text{m}$ ), 0,21 mm (210  $\mu\text{m}$ ), 0,15 mm (150  $\mu\text{m}$ ) e 0,075 mm (75  $\mu\text{m}$ ) e associadas para serem levadas agitador mecânico (figura 17), passando 1 minuto sob agitação. Como não cabia todas as peneiras ao mesmo tempo, o agitador foi utilizado duas vezes para que a amostra passa-se por todas as peneiras.



**Figura 17: Algumas peneiras no agitador.**

Fonte: Autor

Após a amostra ter passado por todas as peneiras, foi pesado o que ficou retido em cada peneira, para se calcular as porcentagens retidas em cada peneira.

### *3.2.1.2 Ensaio de Limite de liquidez*

O limite de liquidez foi determinado, baseando-se na NBR 6459, (ABNT, 1984). A amostra preparada foi colocada numa cápsula de porcelana e foi sendo adicionada água aos poucos, em quanto a amostra era amassada e revolvida com ajuda de uma espátula; tudo isso com a objetivo de se obter uma pasta homogênea, de forma que a ranhura possa ser fechada com aproximadamente 35 golpes.

Como o solo era mais arenoso, o tempo de homogeneização foi de aproximadamente 15 minutos; então parte da mistura foi transferida para a concha e foi verificada que a espessura na parte central era próxima de 10 mm e não foram constatadas bolhas de ar. Procedeu-se com a continuidade do ensaio (Figura 18).

A amostra foi dividida em duas partes com ajuda de um cinzel, de forma que a ranhura que divide as duas partes, ficasse em sua parte central, como pode ser visto na Figura 18. Em seguida, a concha foi recolocada no aparelho.



**Figura 18: Amostra já homogeneizada, na concha do aparelho de Casa Grande.**

Seguindo o que é prescrito pela norma, com a ajuda do aparelho de Casa Grande a concha foi golpeada contra a base, girando-se a manivela com uma razão de duas voltas por segundo. Enquanto se golpeava a concha, foi observada a ranhura e o número de golpes, para que fosse anotado o número de golpes que leva-se a união da ranhura numa faixa próxima de 13 mm de comprimento. Então foi transferida uma pequena parte do material que ficou junto às bordas que se uniram, para um recipiente adequado para determinação da umidade.

Em seguida, o material restante na concha foi transferido novamente para a cápsula de porcelana e os equipamentos lavados e enxugados. Em seguida, a amostra foi umidificada novamente e homogeneizada por 3 minutos, para repetir todo o processo até que chegou-se a 5 pontos de ensaio.

Antes da realização do ensaio, as 5 cápsulas foram pesadas para se ter a tara (peso da cápsula), já com as amostras dentro de cada uma e tampadas para

não perder umidade. Pesou-se tudo, para se ter a massa da tara junto a massa do solo úmido, para então levar à estufa com temperatura de 100 a 110 °C e aguardar por 24 horas, para que a umidade evapore das amostras e fosse obtido a massa da tara junto a massa do solo seco.

### *3.2.1.3 Ensaio de Limite de plasticidade*

Este ensaio foi feito baseado na NBR 7180 (ABNT, 1988b), que define o método para determinação do limite de plasticidade e os cálculos para se chegar no índice de plasticidade dos solos.

Este ensaio seguiu o item 4.2 da norma, onde foi utilizada uma amostra com secagem prévia. Semelhante ao ensaio anterior a amostra foi colocada numa cápsula de porcelana e umedecida com água enquanto era amassada e revolvida com a espátula, até se chegar numa pasta homogênea e com uma consistência plástica, onde o tempo total de homogeneização foi de pouco mais de 15 minutos, por ser um solo arenoso.

Em seguida foi retirado aproximadamente 10 gramas da amostra e moldado na forma de uma bola para então ser rolada, numa placa de vidro (figura 19), com aplicação de certa pressão que fosse lida dando uma forma cilíndrica e tomando-se bastante cuidado, com a pressão aplicada, visto que, segundo a norma, se a amostra se fragmentar antes de chegar a um diâmetro de 3 mm, a amostra deve voltar para a cápsula e o processo de homogeneização deve ser refeito.





**Figura 19:** 10g da amostra, já na forma de uma bola, começando a ser rolada na placa de vidro.

À medida que a espessura do cilindro vai diminuindo e chega ao valor aproximado de 3 mm, com um comprimento próximo de 100 mm, ele deve ser separado em partes e as mesmas colocadas em um recipiente adequado, para então ser determinada a umidade.

### *3.2.2 Tijolos de Solo-cimento*

#### *3.2.2.1 Determinação dos traços*

Na determinação dos traços, foi levado em consideração que era necessário variar a quantidade de resíduo em pequenas proporções para se observar as variações sofridas pelo produto final. Os traços variaram em 5 pontos percentuais a

quantidade de resíduo em relação a de solo, sendo um total de quatro traços com 0%, 5%, 10% e 15% de resíduo.

Foram determinados traços para a confecção dos tijolos de solo-cimento com resíduos de RCMG, sendo os mesmos submetidos aos ensaios técnicos de resistência à compressão simples e absorção de água. Os seguintes traços em volume foram estudados: 1:10:0, 1:9,5:0,5, 1:9:1, 1:8,5:1,5, onde estão representadas as proporções de cimento: solo: RCMG, sendo nomeados de traços 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

### *3.2.2.2 Confecção dos Tijolos de Solo-cimento*

Com os traços definidos em volume, iniciou-se a confecção dos tijolos, com a mistura dos materiais, primeiro apenas o solo, resíduo e cimento, sendo os mesmo homogeneizados a seco e em seguida acrescentada a água aos poucos até se chegar ao teor de umidade que proporciona a confecção dos tijolos, sendo o mesmo verificado através do teste empírico definido pela cartilha da ABCP (2000) supracitado.

O teste do teor de umidade consiste em pegar com a mão uma porção da mistura umedecida, apertá-la de forma que se obtém a forma de um bolinho e as marcas dos dedos estejam presentes nele. Ao tirar o bolinho da mão e limpá-la, a mão não deve estar molhada. Em seguida, o bolinho deve ser solto de uma altura próximo de 1 m, onde o mesmo deve se desmanchar ao atingir o chão.

Com a mistura já pronta, leva-se a mesma ao compartimento de armazenamento da prensa manual (figura 20), para então dar-se início a moldagem dos tijolos. Após terem sido moldados, os tijolos foram colocados sobre uma mesa de mármore, para cura e armazenamento provisório. A cura dos tijolos foi feita por 7 dias, onde durante esse tempo os tijolos se mantiveram úmidos.



**Figura 20: Prensa usada no trabalho.**

Foram fabricados um total de 80 tijolos, sendo 20 unidades para cada traço, onde, desses 20, 10 foram descartados e, dos restantes, 3 foram utilizados no ensaio de absorção de água e 7 no de compressão simples, de acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2013b).

### *3.2.2.3 Ensaio de Absorção de água*

O ensaio de absorção de água foi realizado conforme o prescrito na NBR 8492 (ABNT, 2013c), que define o método para análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água em tijolos de solo-cimento para alvenaria sem função estrutural.

Os três tijolos retirados de cada uma das amostras fabricadas, formaram a amostra para o ensaio de absorção de água, sendo os mesmo colocados em estufa (figura 21) com temperatura entre 100 °C e 110 °C, durante 24 horas para se obter a massa seca em g.



**Figura 21: Tijolos dentro da estufa.**

Após a retirada e pesagem dos tijolos já secos, aguardou-se que os mesmos chegassem a temperatura ambiente, para então imergi-los em água (figura 22), por um período de 24 horas, para então serem retirados e pesados para se obter a massa úmida.



**Figura 22: Tijolos imersos em água para absorver umidade.**

Em seguida, utilizando a equação 1, determinou-se a absorção de água de cada tijolo, para então serem verificados os requisitos da norma.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$m_1$  é a massa seca

$m_2$  a massa úmida e

$A$  a absorção de água.

#### 3.2.2.4 Ensaio de resistência à compressão simples

O ensaio de resistência à compressão simples foi realizado conforme o que está prescrito na NBR 8492 (ABNT, 2013c), que define o método para análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água em tijolos de solo-cimento para alvenaria sem função estrutural.

Os 7 tijolos separados de cada traço, para compor a amostra do ensaio de resistência a compressão simples, passaram por um processor de preparação, que é indicado pela NBR 8482, (ABNT, 2013c), onde foram cortados ao meio, perpendicularmente a maior dimensão (figura 23).



Figura 23: Preparação dos tijolos.

Em seguida, as duas faces maiores foram superpostas e ligadas com uma pasta de cimento, pasta essa composta apenas de cimento e água, garantido que sua resistência seja maior que a do tijolo, logo ela não será o elo fraco, durante o ensaio. Após endurecimento da pasta na ligação, uma pasta com o mesmo traço foi utilizada para uniformizar as duas faces de contato com a prensa de ensaio (figura 24), para uma melhor distribuição do carregamento durante o ensaio.



**Figura 24: Tijolos já com a pasta de cimento em processo de endurecimento.**

Em seguida as amostras preparadas foram armazenadas para serem transportadas ao Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões, em Maceió, tomando-se o máximo de cuidado para acomodá-los de forma a evitar o atrito ou colisão entre os mesmos durante a viagem (figura 25).



**Figura 25: Tijolos, já preparados e armazenados para viagem.**

Chegando ao laboratório, os tijolos foram levados a prensa (figura 26), para realização do ensaio. Antes de serem submetidos ao ensaio, foram realizadas quatro medições de cada prisma formado com os tijolos, sendo duas da metade superior e duas da metade inferior que formam o prisma, para obtermos a área média de trabalho, visto que o resultado obtido na prensa é em quilograma força e a norma pede uma análise em tensão, com relação à área de trabalho. Para se calcular a tensão aplicada ao corpo de prova, ela é dada pela razão da força aplicada pela área media de trabalho.



**Figura 26: Prensa Hidráulica, usada no ensaio de resistência a compressão simples.**

Logo em seguida os tijolos foram ensaiados à compressão simples aos 16 dias, como pode ser visto na figura 27.



**Figura 27: Tijolo apos o rompimento.**



## 4 Resultados

### 4.1 Solo

Como critério de verificação do solo, passamos o material na peneira 4,75 mm (figura 28) e foi constatado que 100% do material passou na peneira, aprovando então o solo em seu primeiro critério.



Figura 28: Peneira de 4,75mm.

#### 4.1.1 Análise Granulométrica

As amostras retidas em cada peneira foram pesadas e com os resultados montou-se a Tabela 1.

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>M(g)</b>	<b>M(%)</b>
<b>1,2</b>	12,506	10,59
<b>0,6</b>	34,118	28,90
<b>0,42</b>	10,965	9,29
<b>0,21</b>	15,585	13,20
<b>0,15</b>	9,213	7,80
<b>0,075</b>	18,768	15,90
<b>Fundo</b>	16,897	14,31
<b>Total</b>	118,052	100,00

**Tabela 1: Resultados do Peneiramento.**

Como critério de aceitação do solo, a NBR 10833 (ABNT, 2013a), determina que de 10% a 50% do material deve passar na peneira com abertura de malha de 0,075 mm, e, como pode ser visto na tabela 1, 14,31% do material passou pela peneira, com isso o solo satisfaz o critério descrito.

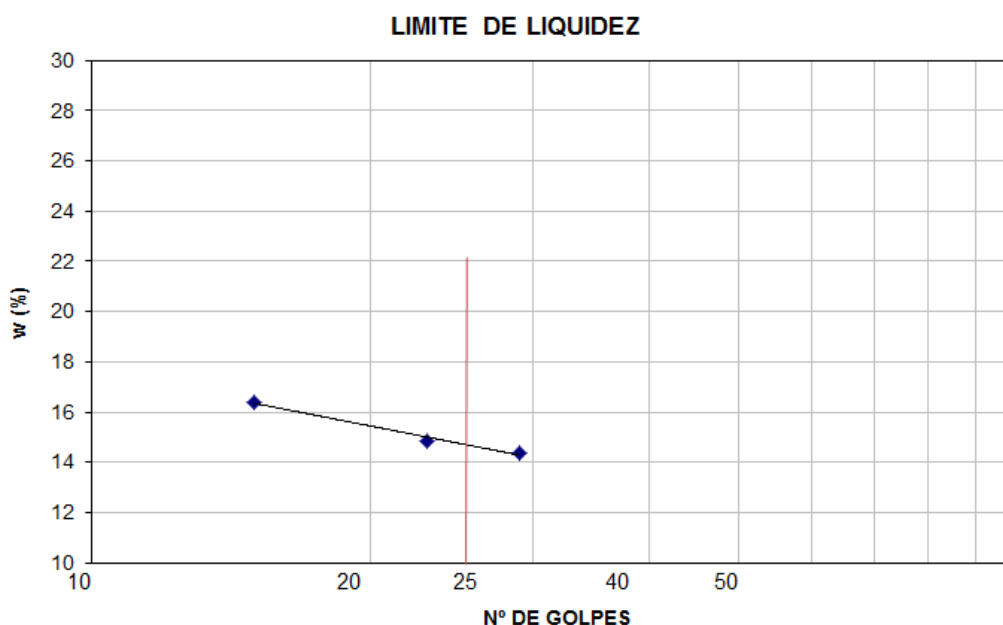
#### 4.1.2 Determinação do Limite de Liquidez

Com os resultados obtidos foi montada a tabela 2, que além das massas seca e úmida, do solo e da cápsula e o número de golpes, contém a umidade em porcentagem.

Determ. nº	1	2	3	4	5
Cápsula nº	1	2	3	4	5
S + T + A g	40,13	34,78	38,963	38,301	33,473
S + T g	38,07	32,67	37,44	36,58	32,5
Tara (T) g	25,5	23,2	27,2	24,6	24,8
Água (A) g	2,06	2,11	1,52	1,72	0,97
Sólidos (S) g	12,57	9,47	10,24	11,98	7,70
w %	16,4	22,2	14,9	14,4	12,6
Golpes nº	15		23	29	

**Tabela 2: Dados obtidos com o ensaio de limite de liquidez**

A partir da umidade e do número de golpes, é possível plotar o gráfico (figura 29) e estimar o limite de liquidez que, segundo a NBR 6459 (ABNT, 1984), é o valor encontrado para 25 golpes. Para o solo usado no estudo, este valor foi de aproximadamente 14,4%, sendo este um resultado bastante satisfatório, visto que o limite determinado pela NBR 10833 (ABNT, 2013a), é que o LL seja menor que 45%.



**Figura 29: Pontos obtidos para determinação do limite de liquidez.**

#### 4.1.3 Determinação do Limite de Plasticidade

Na determinação do limite de plasticidade, o ensaio não foi satisfatório, visto que o solo utilizado era um solo bastante arenoso, o que dificulta bastante o ensaio. Assim, é possível afirmar que o limite de plasticidade é bem pequeno, em função da dificuldade de se moldar os cilindros.

Na figura 30, pode-se observar que, mesmo tomando-se os devidos cuidados com a pressão exercida sobre a amostra, não se conseguiu alcançar uma forma cilíndrica com espessura de 3 mm e comprimento de 100 mm da amostra, conforme especificado em norma.



**Figura 30: Amostra em forma de cilindro, fragmenta antes de atingir os 3mm de espessura.**

Como o limite de liquidez foi menor que 18% e mesmo não sendo possível determinar o limite de plasticidade, visto que o solo apresenta características bastante arenosas, pode-se afirmar que o índice de plasticidade, obtido pela diferença entre o LL e o LP, não é maior que 18%, satisfazendo o critério do índice de plasticidade exigido pela norma.

## 4.2 Tijolos

### 4.2.1 *Confecção dos Tijolos de Solo-cimento*

Como descrito na metodologia, iniciou-se a fabricação pela mistura homogênea dos materiais, o que pode ser observado na figura 31.



**Figura 31: Materiais já homogeneizados, prontos para receberem água.**

Posteriormente o material foi umedecido, como é possível ver na figura 32 um dos traços com umidade adequada.



**Figura 32: Traço 3, pronto para prensa.**

O fator água cimento dos traços variou entre 0,62 e 0,67 para cada mistura, como pode ser observado na Tabela 3.

Traço	a/c
1	0,65
2	0,63
3	0,67
4	0,62

**Tabela 3: Fator água cimento, usado em cada traço.**

Com o traço umedecido, parte foi colocada no compartimento de armazenamento da prensa, como pode ser visto na figura 33.



**Figura 33: Mistura dentro do compartimento de armazenamento da prensa.**

Em seguida, os tijolos foram moldados e prensados, como pode ser visto na figura 34.



**Figura 34: Exemplo de tijolo já moldado e prensado.**

Após serem retirados da prensa os tijolos foram colocados numa mesa de mármore para serem armazenados e curados, como pode ser visto na figura 35.



**Figura 35: Tijolos armazenados e em processo de cura.**



#### 4.2.2 Teste de Absorção de água

Com os resultados obtidos no ensaio de absorção de água, foi montada a Tabela 4.

**Tabela 4: Média dos valores de absorção de água e maior valor individual.**

<b>Traço</b>	<b>Média</b>	<b>Maior Ind</b>
1	13%	13%
2	13%	16%
3	14%	17%
4	15%	15%

**Tabela 5: Média dos valores de absorção de água e maior valor individual.**

Como pode ser visto na tabela 4, a média dos valores de cada traço não foi superior a 20% e nenhum valor individual foi maior que 22%, tendo sido realizado o ensaio com mais de sete dias de moldagem. Com isso, o requisito de absorção de água da NBR 8491 (ABNT, 2013b) foi satisfeito.

#### 4.2.3 Determinação da Resistência a Compressão simples

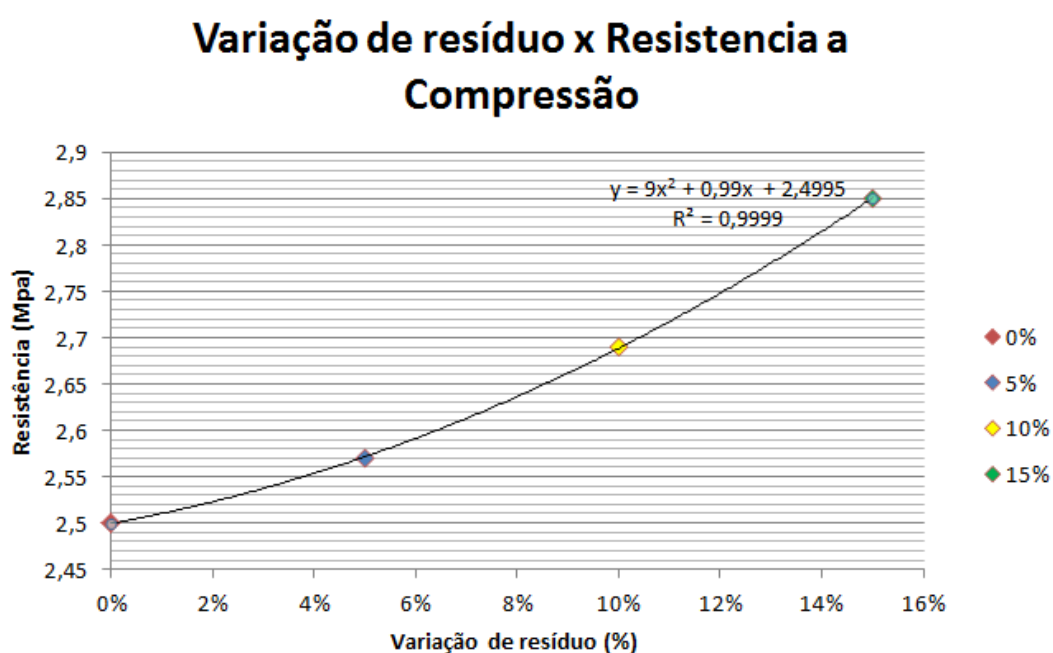
Com os resultados obtidos no ensaio de resistência a compressão simples foi montada a Tabela 6.

<b>Traço</b>	<b>Média (Mpa)</b>	<b>Variação (%)</b>	<b>Men. Ind. (Mpa)</b>
1	2,5	0	1,84
2	2,57	3%	2,26
3	2,69	7%	1,71
4	2,85	12%	1,85

**Tabela 6: Resistência a compressão média de cada traço e o menor valor individual.**

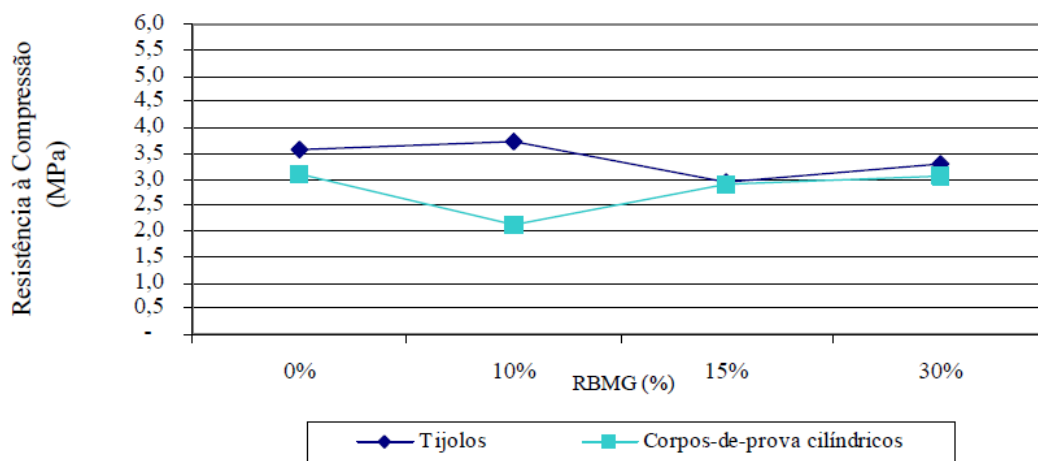
Na tabela 5, podemos observar que nenhum valor médio foi inferior a 2 MPa e nenhum valor individual menor do que 1,7 MPa, aprovando assim os tijolos segundo o critério de resistência a compressão da NBR 8491 (ABNT, 2013b).

Na figura 36, podemos observar uma curva que mostra a variação da resistência à compressão simples em função da quantidade de resíduo na mistura e podemos constatar que existe um aumento da resistência a compressão simples, a medida que se aumenta a quantidade de resíduo. Isso pode ser justificado pelo fato do resíduo ter uma granulometria fina e contribuir para o aumento do grau de compactação.



**Figura 36: Curva de variação da resistência a compressão, em função da porcentagem de resíduo adicionado ao traço.**

A figura 37 representa o gráfico de resistência a compressão simples dos tijolos usados na pesquisa de MIRANDA (2007), com 10% de cimento, em relação a massa de solo, sendo o mais parecido com a quantidade de cimento utilizada nesta pesquisa.



**Figura 37: Comparação de resistência a compressão aos sete dias, com 10% de cimento.**

Fonte: MIRANDA (2007).

Podemos observar, de que em ambas as pesquisas, foram atendidos os valores exigidos em norma, para a resistência a compressão simples.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões

Neste trabalho de conclusão de curso foram realizados estudos com o objetivo de melhorar as propriedades do tijolo de solo-cimento, adicionando resíduo do corte do mármore e granito, esperando-se, além de melhorar suas qualidades, encontrar um meio de reuso deste resíduo, bastante problemático. Com os resultados dos ensaios realizados nesse trabalho, podemos chegar as seguintes conclusões:

- O solo utilizado para a confecção dos tijolos é um solo extremamente qualificado para este propósito, pois, além de atender os requisitos exigidos pelas normas, sendo estes a passagem de 100% do material na peneira de 4,75 mm, de 10% a 50% passando na peneira de 0,075 mm, um limite de liquidez menor ou igual a 45% e um índice de plasticidade menor ou igual a 18%, apresentou valores de absorção de água e resistência à compressão maiores do que o mínimo exigido por norma;
- Enquanto à NBR 8491 (ABNT, 2013b) recomenda valores para absorção de água não superiores a 20% e valores de resistência à compressão individuais não inferiores a 1,7 MPa: como os traço apresentaram valores de absorção de água bem menores que 20% e valores de resistência à compressão simples superiores a 2 MPa, temos parâmetros que comprovam que é possível reduzir a quantidade de cimento e se chegar aos valores usados como requisitos na norma;
- Analisando os resultados do ensaio de absorção de água, podemos chegar à conclusão de que, aumentado a quantidade de resíduo, temos um aumento da absorção de água, o que normalmente é esperado quando se trabalha com resíduos de construção e demolição, sendo a absorção de água um dos problemas de se usar os resíduos como agregados e a própria pedra de mármore, quando ainda está bruta, pode ser constatado que tem uma absorção de água elevada. Contudo, mesmo com o aumento gradativo, o maior valor de absorção de água foi de 17%, o que ainda satisfaz o requisito de absorção de água da norma;

- Observando os resultados do ensaio de resistência à compressão simples, podemos comprovar de forma mais clara, pelo gráfico 1, que, à medida que se aumenta a quantidade do resíduo em substituição ao volume de solo, temos um aumento considerável da resistência dos tijolos em todos os traços; com 5%, 10% e 15% de resíduo, os resultados ultrapassaram os valores de resistência exigidos pela norma, o que nos leva a concluir que pode-se substituir parte do solo, pelo resíduo;
- O uso do resíduo do corte do mármore e granito na fabricação de tijolos de solo-cimento, pode ser uma boa forma de reutilizar o resíduo, visto que, além de melhorar as propriedades do produto final, ele teria uma destinação viável, o que do ponto de vista ambiental, econômico e social, seria de grande importância para o desenvolvimento sustentável da indústria da construção civil e com ela a indústria de rochas ornamentais.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros.**

- Realizar testes para se chegar à quantidade mínima de cimento para fabricar os tijolos com o mesmo solo e então realizar os testes com adição de resíduo;
- Realizar testes com variações superiores de resíduos, em relação aos deste trabalho, para se analisar até que ponto o resíduo melhora as propriedades e comprovar a existência de um valor de saturação;
- Realizar uma análise das variações provocadas nos limites de liquidez e plasticidade com a adição do resíduo;
- Realizar uma pesquisa, substituindo parte do cimento pelo resíduo, para observar o comportamento do produto final.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL M. C: **Avaliação da Incorporação de Resíduo de Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar em Tijolo de Solo-Cimento.** Dissertação (mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF – Campos Dos Goytacazes – RJ 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. **A Importância do Brasil no mercado internacional de rochas ornamentais.** Revista Brazil S/A 2013. São Paulo – SP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. (1985). **Solo-cimento na habitação popular.** São Paulo

\_\_\_\_\_. **Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais.** São Paulo: Boletim Técnico 111, 2000.

\_\_\_\_\_. **Solo-cimento na habitação popular.** São Paulo 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR- 6459. Solo - Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, RJ (1984).

\_\_\_\_\_. **NBR- 6457. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, RJ (1986).

\_\_\_\_\_. **NBR- 7181. Solo - Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, RJ (1988a).

\_\_\_\_\_. **NBR- 7180. Solo - Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, RJ (1988b).

\_\_\_\_\_. **NBR- 10004. Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, RJ (2004a).

\_\_\_\_\_. **NBR- 10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, RJ (2004b).

\_\_\_\_\_. **NBR- 10833. Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento.** Rio de Janeiro, RJ (2013a).

\_\_\_\_\_. **NBR- 8491. Tijolo de solo-cimento - Requisitos.** Rio de Janeiro, RJ (2013b).

\_\_\_\_\_. **NBR- 8492. Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, RJ (2013c).

CALLISTER, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC.2012.

FERRAZ, A.L.N. **Análise da Adição de Resíduos de Argamassa de Cimento em Tijolos Prensados de Solo-Cimento**. Dissertação (Mestrado) – UNESP. Ilha Solteira-SP, 2004, 92p.

FERREIRA, R.C. **Desempenho físico-mecânico e propriedades termo físicas de tijolos e mini painéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. 204 f. Tese (Doutorado em Construções Rurais) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. São Carlos, 2003. 165p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LIMA, J. A. R.. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1999.

LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ**. Campos dos Goytacazes, 2006. 107p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense.

LISBÔA, E. M: **Obtenção do Concreto Auto adensável Utilizando Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito e Estudo de Propriedades Mecânicas**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Alagoas – Campus A. C. Simões. Maceió. 2004

MERCADO, M. C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes a sua produção e utilização em estudo de caso**. 1990. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MIRANDA, R. A. C. **Viabilidade técnica da aplicação de resíduo de beneficiamento de mármore e granito em tijolos de solo-cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Goiânia – GO, Universidade Federal de Goiás 2007.

- MME, Ministério de Minas e Energia: Contrato nº 48000.003155/2007-17: **Desenvolvimento de estudos para Elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral.** Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2009.
- MOTA, J. D.; OLIVEIRA, D. F.; SOUSA, A. A. P.; LARANJEIRA, E.; MONTEIRO, M. R. S. (2010) **Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento.** 3º Simpósio Interamericano de Engenharia de Resíduos. Campina Grande – Paraíba.
- MYRRHA, M. A. de. L. **Solo cimento para fins construtivos.** In: FREIRE, W.J. BERALDO, A.L. Tecnologias e materiais alternativos de construção. São Paulo: Editora da Unicamp, 332p., cap.4, p.95-120, 2003.
- PITTA, M.R. **Características Tecnológicas dos Solos Estabilizados com o Cimento.** São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1983.
- PLANET, Brasil: **A Importância do Brasil no Mercado internacional de rochas Ornamentais.** Disponível em: <<http://brazilplanet.com.br/revista/destaque-a-importancia-do-brasil-no-mercado-internacional-de-rochas-ornamentais/>> Acesso em: 16/05/2015
- REZENDE, D; GUILHERME, M; ALMEIDA, T. **Tijolo de solo cimento.** Faculdade Pitágoras de Ipatinga. 2013.
- SAVAZZINI, A. R; ENGEL, C. A. **A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais.** IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2007.
- SILVEIRA, P. E. M. **A aplicação do resíduo de construção e demolição reciclado no compósito solo-cimento.** Rio Claro, 2005. 132p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- SOARES, J. M. S.; TOMAZETTI, R. R.; PINHEIRO, R. B. **Habitação em paredes monolíticas de solo-cimento.** Teoria e prática na engenharia civil, n.5, p.51-57, ago. 2004.
- SOUSA, A. A. P; OLIVEIRA, D. F; FARIAS, G. G; SOUSA, M. F. N e JORDÃO, M. T. **Sinal Verde – Gestão Ambiental: a experiência do CEGAMI.** EDUEP. Campina Grande/PB. 2007.
- TAVEIRA, E. S. N. **O solo-cimento no campo e na cidade. Construir, morar, habitar.** Coleção Brasil Agrícola, Ícone editora. 2ª edição. São Paulo, SP, 1987.



VORONKOFF, T. M. G. **Gerenciamento de resíduos sólidos**. Maceió, 2011

WASHINGTON, A. M; JARDEL, P. G; SILVA, R. L: **Utilização de resíduos de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso**. Revista da Universidade Estadual de Feira de Santana, n.26, p. 49-61, jan./jun. 2002.