

# Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Departamento de Engenharia Civil

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL  
NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CAL**

**SOLANGE MARIA DA ROCHA PATRICIO**

**Campina Grande**  
**Data:** MAIO/2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**SOLANGE MARIA DA ROCHA PATRICIO**

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO  
DE TIJOLOS SOLO-CAL**

**CAMPINA GRANDE – PB  
MAIO/2011**

**SOLANGE MARIA DA ROCHA PATRICIO**

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO  
DE TIJOLOS SOLO-CAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial à obtenção do grau de mestre.

**Área de concentração:** Engenharia Geotécnica

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

**CAMPINA GRANDE – PB  
MAIO/2011**

*1334/2011*  
*1334/2011 (013/0029)*

*2011*  
*MA - PPLB - MA-FO-21*  
*09/2011*



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

P314a Patricio, Solange Maria da Rocha  
Aproveitamento de Resíduos da Construção Civil na produção de Tijolos Solo-Cal / Solange Maria da Rocha Patricio. - Campina Grande, 2011.

89 f.: il. col.

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

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

1. Resíduos. 2. Tijolos. 3. Solo-Cal. 4. Pozoloana. 5. Aproveitamento. I. Título.

CDU - 628.4.043 (043)

**SOLANGE MARIA DA ROCHA PATRICIO**

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO  
DE TIJOLOS SOLO-CAL**

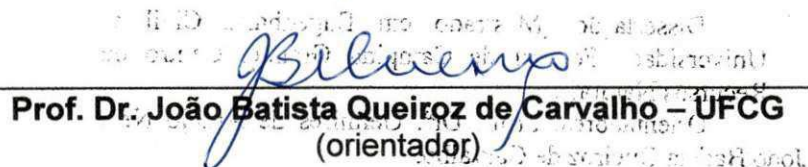
Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial à obtenção do grau de mestre

**BANCA EXAMINADORA:**



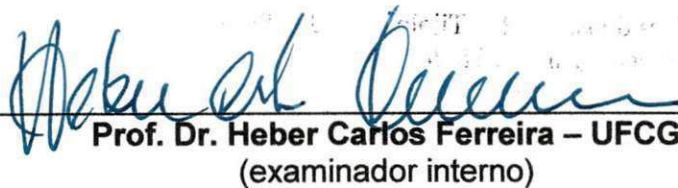
---

**Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves – UFCG**  
(orientador)



---

**Prof. Dr. João Batista Queiroz de Carvalho – UFCG**  
(orientador)



---

**Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira – UFCG**  
(examinador interno)



---

**Prof.ª Dr.ª Djane de Fátima Oliveira – UEPB**  
(examinador externo)

**CAMPINA GRANDE – PB**  
**2011**

*À Deus, pelo dom da vida;*  
*À família pelo apoio e compreensão;*  
*Aos amigos pelo incentivo. DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS por proporcionar-me a conclusão de mais uma etapa da vida.

À Minha família que é à base de tudo, pelo carinho e presença constante na minha vida.

Aos orientadores Dr. Gelmires de Araújo Neves e Dr. João Batista Queiroz de Carvalho, não somente pela orientação, mas também pela amizade, apoio, paciência e compreensão.

Ao Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira que sempre esteve presente nos momentos mais importantes de minha vida, e grande incentivador de meu interesse pela temática da presente pesquisa sempre auxiliando nas minhas dificuldades.

A Profª Drª Djane pela parceria e colaboração na elaboração da pesquisa, sempre auxiliando nas minhas dificuldades.

As minhas amigas de Mestrado Izabelle, Suelen Figueiredo, Cássia, Ana Maria e Suelen Lisboa, das quais conquistei no decorrer do curso e foram de suma importância para conclusão dos trabalhos.

Aos meus colegas de turma, em especial a Rodrigo (primo) pelas manifestações de amizade e carinho que permearam todos os momentos de convívio.

A UFCG ao Laboratório de Solos I e ao Laboratório de Estruturas, da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, e ao Laboratório de Reciclagem, da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais.

Aos funcionários Jadilson e Edvaldo, de Engenharia Civil, e aos funcionários de Engenharia de Materiais, Joselito, Everaldo e Baiano, pela cooperação nos ensaios realizados.

A todos aqueles que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização deste trabalho, seja por gesto, palavra, pensamento ou intenção.

## RESUMO

No Brasil existem sérios problemas ambientais no que se refere à extração indiscriminada de recursos naturais e a constante geração de resíduos de construção e demolição. Buscando soluções que minimizem esta degradação ambiental, procuramos desenvolver novas técnicas de reutilização e reciclagem dos resíduos da construção civil para fabricação de materiais alternativos, incentivando o desenvolvimento sustentável. Com o objetivo de se obter aglomerante pozolânico a partir da reciclagem de resíduos da construção civil, oriundos de demolição visando sua aplicação na fabricação de tijolos solo-cal. Foram realizados estudos em uma amostra de resíduo de demolição, proveniente da reforma do laboratório de Solos I, um solo proveniente de jazida e uma amostra de cal. As amostras foram submetidas a ensaios de caracterização física, química e mineralógica, como: granulometria, limites de liquidez e plasticidade, massa específica real, análise química, análise térmica diferencial, difração de raios-X, área específica e determinação da atividade pozolânica. O resíduo de demolição foi triturado em moinho de galga, até a obtenção de uma distribuição granulométrica próxima da cal. Foram moldados corpos de prova de solo-cal no traço 1:10 em peso, e solo-cal com incorporação de resíduos nas seguintes proporções: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 75%. Posteriormente foram confeccionados tijolos de solo-cal e solo-cal-resíduo com 25% de resíduo, uma vez que estudos com os corpos de prova, com esta composição, apresentaram melhores resultados. Os corpos de prova e os tijolos foram curados por períodos de 28, 60 e 90 dias de cura e submetidos a ensaios de resistência á compressão simples e absorção, cujos resultados apresentaram comportamento mecânico dentro das normas da ABNT e que existe viabilidade técnica no aproveitamento de resíduo de demolição para uso na fabricação de tijolos solo-cal incorporados com resíduo sem função estrutural e que seu uso implica na preservação do meio ambiente e na melhoria da qualidade de vida da população em geral.

**Palavras-chave:** resíduos, tijolos, solo-cal, pozolana, aproveitamento



## ABSTRACT

In Brazil there are serious environment problems regarding the indiscriminate extraction of natural resources and constant generation of construction and demolition waste. Researching solutions to minimize this degradation, new techniques for reusing and recycling of construction waste for the production of alternative materials have been developed, encouraging sustainable development. With the aim of obtaining pozzolonic binder from recycling of construction waste, for its application in the manufacture of soil-lime bricks, it was studied a sample of demolition waste, from the reform of Soil Laboratory I, a soil and a sample of lime. The samples were characterized by chemical analysis, thermogravimetric analysis, X-ray diffraction, surface area and determination of pozzolanic activity. The demolition waste was milled in mill climbs, until obtaining a particle size similar to the lime. Specimens were prepared for test-soil-lime and lime-soil-residue on the das and 1:10, as binders and lime waste from demolition, the following compositions: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 75% waste and soil as aggregate. Then, they were made of soil-lime bricks incorporated with 25% waste, what is the best composition of the specimens used in evidence. The specimens and the bricks were cured for periods of 28, 60 and 90 days and tested for determine unconfined compressive strength and absorption, which showed that the recycling of waste demolition presented itself as a promising material to be used in the manufacture of bricks used in buildings and that its use implies the preservation of the environment and improving the quality of population lives in general. But it's necessary further study in relation to standardization. The results were not satisfactory with the demolition waste as a binder.

**Keywords:** demolition waste, soil-lime bricks, pozzolana

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS .....	17
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES ....	18
2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) .....	19
<b>2.2.1 Utilização do RCD na fabricação de tijolos e blocos de alvenaria</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.2 Origem e Composição</b> .....	<b>21</b>
2.3 RECICLAGEM DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	23
2.4 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E O MEIO AMBIENTE.....	25
2.5 POZOLANA.....	26
<b>2.5.1 Classificação das Pozolanas</b> .....	<b>27</b>
<b>2.5.2 Atividade Pozolânica</b> .....	<b>28</b>
2.6 TIJOLOS INCORPORADOS COM RESÍDUOS .....	29
2.7 TIJOLOS ECOLÓGICOS .....	30
2.8 SOLO-CAL .....	33
2.9 TIJOLOS SOLO-CAL .....	33
2.10 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE SOLO E DOSAGEM DE TRAÇO .....	35
2.11 CAL .....	37
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
3.1 MATERIAIS .....	38
3.2 MÉTODOS .....	39
<b>3.2.1 Beneficiamento das matérias primas</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2.2 Caracterização dos materiais</b> .....	<b>41</b>

<b>3.2.3 Ensaio Tecnológico</b> .....	<b>45</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>51</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA-MINERALÓGICA .....	51
4.2 ENSAIOS TECNOLÓGICOS .....	61
4.2.1 Composição química dos corpos de prova .....	61
4.2.2 Difração de raios-x dos corpos de prova .....	63
4.2.3 Resistência à compressão simples (RCS) dos corpos de prova .....	71
4.2.4 Absorção de água dos corpos de prova .....	77
4.2.5 Resistência à compressão simples (RCS) dos tijolos .....	78
4.2.6 Absorção de água dos tijolos .....	80
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES</b> .....	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>83</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Origem dos RCD em algumas cidades brasileiras (% da massa total).....	22
Figura 2.2 - Modelos diversos de tijolos ecológicos.....	31
Figura 2.3 – Prensa manual para fabricação de tijolos (a) e tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição (b).....	34
Figura 3.1 - Fluxograma das etapas metodológicas realizadas neste trabalho de pesquisa.....	39
Figura 3.2 – Resíduo de demolição.....	40
Figura 3.3 - Moinho de galga.....	41
Figura 3.4 – Equipamento EDX 700 da marca Shimadzu.....	43
Figura 3.5 – Difratorômetro de raios-X SHIMADZU XRD – 6000.....	44
Figura 3.6 – Equipamento de ATD e ATG Modelo BP Engenharia.....	45
Figura 3.7 – Cura dos corpos de prova para ensaios de RCS e ABS.....	46
Figura 3.8 – Prensa manual para fabricação dos tijolos.....	47
Figura 3.9 - Tijolos para ensaios físicos-mecânicos.....	47
Figura 3.10 – Corpos de prova de cilíndricos (a) sendo submetidos ao ensaio de resistência a compressão simples na Máquina Universal SHIMADZU AG-IS com célula de 100 KN (b).....	49
Figura 3.11 – Tijolos (a) sendo submetidos ao ensaio de resistência a compressão simples na Máquina Universal SHIMADZU AG-IS com célula de 100 KN(b).....	49
Figura 4.1 – Distribuição de tamanho de partículas do solo.....	54
Figura 4.2 – Distribuição de tamanho de partículas da cal Carbomil.....	54
Figura 4.3 - Distribuição de tamanho de partículas do resíduo de demolição.....	55
Figura 4.4 – Difração de raios-X do solo.....	57
Figura 4.5 – Difração de raios-X da cal.....	58
Figura 4.6 - Difração de raios-X do resíduo de demolição.....	58
Figura 4.7 – Curva das análises de ATD e ATG do solo.....	59
Figura 4.8 – Curva das análises de ATD e ATG da cal.....	60
Figura 4.9 – Curva das análises de ATD e ATG do resíduo de demolição.....	60
Figura 4.10 – Difração de raios X dos corpos de prova solo-cal (referência).....	63

Figura 4.11 – Difração de raios X da composição solo-cal-10% de resíduo de demolição.....	64
Figura 4.12 – Difração de raios X da composição solo-cal-20% de resíduo de demolição.....	65
Figura 4.13 – Difração de raios X da composição solo-cal-25% de resíduo de demolição.....	66
Figura 4.14 – Difração de raios X da composição solo-cal-30% de resíduo de demolição.....	67
Figura 4.15 – Difração de raios X da composição solo-cal-40% de resíduo de demolição.....	68
Figura 4.16 – Difração de raios X da composição solo-cal-50% de resíduo de demolição.....	69
Figura 4.17 - Difração de raios X da composição solo-cal-75% de resíduo de demolição.....	70
Figura 4.18 – Curva de compactação da mistura solo-cal.....	71
Figura 4.19 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-10% de resíduo de demolição.....	72
Figura 4.20 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-20% de resíduo de demolição.....	73
Figura 4.21 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-25% de resíduo de demolição.....	74
Figura 4.22 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-30% de resíduo de demolição.....	74
Figura 4.23 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-40% de resíduo de demolição.....	75
Figura 4.24 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-50% de resíduo de demolição.....	76
Figura 4.25 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-75% de resíduo de demolição.....	77
Figura 4.26 - Absorção de água dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição.....	78
Figura 4.27- Resistência à compressão simples dos tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição.....	79
Figura 4.28 – Absorção de água dos tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição.....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Geração de RCD em alguns municípios brasileiros.....	26
Tabela 2.2 - Classificação das pozolanas.....	27
Tabela 2.3 - Exigências químicas para materiais pozolânicos.....	27
Tabela 2.4 - Exigências físicas para materiais pozolânicos .....	27
Tabela 2.5 – Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento ou solo-cal....	32
Tabela 2.6 - Requisitos de seleção do solo para a fabricação dos componentes de alvenaria.....	36
Tabela 3.1 - Quantitativo dos corpos de prova.....	46
Tabela 3.2 - Quantitativo dos tijolos solo-cal e solo-cal-25% de resíduo de demolição.....	48
Tabela 4.1 - Percentuais que compõe o resíduo de demolição.....	51
Tabela 4.2 – Especificações do resíduo de demolição.....	51
Tabela 4.3 - Massa específica real e área específica das matérias primas.....	52
Tabela 4.4 - Distribuição granulométrica e índices físicos do solo.....	53
Tabela 4.5 - Composição química do solo, cal e resíduo de demolição....	56
Tabela 4.6 – Atividade pozolânica dos corpos de prova solo-cal incorporados com resíduo de demolição.....	61
Tabela 4.7 - Composições químicas dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição.....	62
Tabela 4.8 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição.....	71
Tabela 4.9 - Absorção de água dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição .....	77
Tabela 4.10 - Resistência à compressão simples dos tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição.....	79
Tabela 4.11 - Absorção de água dos tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição.....	80

## ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Albita

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials

$\text{Al}_2\text{O}_3$  – Óxido de alumínio

ATD – Análise termodiferencial

ATG – Análise termogravimétrica

C – Calcita ( $\text{CaCO}_3$ )

CAGEPA – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba

CaO – Óxido de cálcio (cal livre)

CE – Ceará

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

$\text{CO}_2$  – Dióxido de carbono

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DRX – Difração de raios X

EVA – Etilene Vinil Acetate

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  – Óxido de ferro

IP – Índice de plasticidade

K - Caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ )

$\text{K}_2\text{O}$  – Óxido de potássio

LL – Limite de liquidez

LP – Limite de plasticidade

M – Mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ )

$\text{MgO}$  – Óxido de magnésio

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira Registrada

NUTEC – Núcleo de Tecnologia Industrial

P – Portlandita ( $\text{Ca(OH)}_2$ )

PB – Paraíba

Q – Quartzo ( $\text{SiO}_2$ )

RCD – Resíduo de construção e demolição

RCS – Resistência a compressão simples

RD – Resíduo de demolição

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção

$\text{SiO}_2$  – Dióxido de silício (sílica)

SP – São Paulo

THABA – Programa Tecnologias da Habitação

$\text{Ti}_2\text{O}$  – Óxido de titânio

UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

USCS – The Unified Soil Classification System



## SÍMBOLOS

% – porcentagem

° – grau

°C – grau Celsius

Å – Ångstrom

D – diâmetro

D<sub>10</sub> – 10% do volume com partículas de diâmetro

D<sub>50</sub> – 50% do volume com partículas de diâmetro

D<sub>90</sub> – 90% do volume com partículas de diâmetro

hab – habitante

hrs – horas

kg – quilograma

kV – quilo volts

mA – miliamperes

min – minuto

ml – mililitros

mm – milímetro

MPa – megapascal

n° – número

ton – tonelada

µm – micrômetro

θ – ângulo teta

## 1 INTRODUÇÃO

Grande parte dos resíduos gerados nas atividades da construção civil é oriunda das obras de construção, reforma de demolição e beneficiamento de matérias-primas. Nas últimas décadas inúmeros pesquisadores têm desenvolvido pesquisas visando descobrir técnicas de reaproveitamento destes resíduos.

A indústria da construção civil, nestes últimos 30 anos vem realizando a pesquisa de novos materiais e métodos construtivos, que aumentem a eficiência e o desempenho das edificações, buscando se adequar cada vez mais aos conceitos de sustentabilidade.

Estudos sobre reciclagem de resíduos para uso como pozolanas tem sido intensificados nos últimos anos, podendo-se destacar os resíduos de construções e demolição. O uso de resíduos com propriedades pozolânicas é extremamente atraente para uso em construção civil pela substituição aos aglomerantes clássicos e pela minimização dos problemas ambientais causados por esses rejeitos quando descartados ao meio ambiente; OLIVEIRA (2004).

Construir é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde os primórdios da humanidade foi executada de forma artesanal gerando como subproduto grande quantidade de resíduo mineral procedente de construções e demolições. Hoje em dia a indústria da construção civil causa impactos ambientais, sociais e econômicos, desde a extração da matéria-prima, construção, manutenção até a demolição de empreendimentos.

Com a possibilidade de se conquistar uma melhor colocação para o setor a partir da adoção e do emprego destes resíduos em materiais para vedação (blocos, tijolos, concretos e argamassas), pesquisadores vem buscando conscientizar o mercado consumidor quanto à importância da qualidade deste produto para as habitações (PRUDÊNCIO JÚNIOR et al, 2003).

Segundo Jonh (2000) apud Souza (2007), as razões que motivam essas pesquisas, em geral, são: esgotamento das matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria na saúde e segurança da população. Assim a reciclagem de resíduos como entulho, resíduos industriais, resíduos de mineração, entre outros, contribuem para a preservação ambiental.

Visando soluções que minimizem a degradação ambiental e ao mesmo tempo reduzam os custos do produto final, há a necessidade do desenvolvimento de materiais e técnicas que utilizem racionalmente os recursos naturais, necessitem de pouco investimento financeiro, gerem tecnologias apropriadas, busquem conteúdo energético de fontes próximas ao local da construção e reaproveitem os resíduos da construção civil evitando a deposição em locais e condições inadequadas.

A reciclagem de resíduos da construção civil ainda é pouco utilizada e de pouco conhecimento da população, pois o custo ainda é alto, apesar de estudos afirmarem o custo reduzido deste método.

Considerando-se a necessidade de minimizar o descarte do resíduo da construção civil (entulho) em condições e locais inadequados e aproveitando a potencialidade físico-química desse material, pretendeu-se, neste trabalho de pesquisa, incorporar ao solo, o resíduo da construção civil oriundo de demolição aditivado com cal com a finalidade de obter um material alternativo de construção, de boas características físico-mecânicas, que possa ser utilizado em construções na forma de tijolos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo principal estudar a viabilidade técnica do aproveitamento de resíduos da construção civil, visando sua aplicação na fabricação de tijolos solo-cal.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as matérias-primas: solo, cal e resíduo de demolição.
- Determinar o índice de atividade pozolânica do resíduo de demolição.
- Produzir corpos de prova solo-cal utilizando resíduo de demolição em diversos percentuais.
- Confeccionar tijolos seguindo as normas vigentes da ABNT.
- Avaliar o comportamento físico-mecânicos dos tijolos incorporados com resíduo de demolição e compará-los com os de referência (solo-cal).
- Comparar os resultados obtidos com as normas da ABNT.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES

O entendimento da problemática a ser enfrentada em função da geração de resíduos da construção civil deve ser precedido de uma revisão de conceitos, definições, com base nas normas técnicas e legislações pertinentes ao tema.

Serão apresentadas a seguir as definições consideradas relevantes ao tema da pesquisa. Essas definições compreendem tanto a classificação dos resíduos sólidos urbanos quanto propriamente dos resíduos da construção civil.

A ABNT NBR 10.004 (2004), classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Nas atividades de gerenciamento de resíduos, a Norma é uma ferramenta imprescindível, sendo aplicada por instituições e órgãos fiscalizadores.

A partir da classificação estipulada pela Norma, o gerador de um resíduo pode facilmente identificar o potencial de risco do mesmo, bem como identificar as melhores alternativas para destinação final e/ou reciclagem. Esta nova versão classifica os resíduos em duas classes distintas:

- Resíduos Classe I – Perigosos
- Resíduos Classe II – Não Perigosos
- Resíduos Classe IIA – Não Inertes
- Resíduos Classe IIB – Inertes

Na seqüência da aplicação da norma, um resíduo é considerado perigoso quando apresenta pelo menos uma das seguintes propriedades: corrosividade, reatividade, inflamabilidade, ou toxicidade.

O processo de classificação de resíduos envolve a identificação da atividade que lhe deu origem e de seus constituintes e características e a comparação deste constituinte com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto a saúde e ao meio ambiente é conhecido, segundo Norma NBR 10.004 (2004).

## 2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Os resíduos da construção civil e demolições são aqueles que são gerados através de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, podem ser, por exemplo: tijolos, concreto em geral, blocos cerâmicos, resinas, colas, tintas, solos, rochas, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, fiação elétrica entre outros, que são geralmente chamados de entulhos de obras. Estes resíduos representam um percentual significativo dos resíduos sólidos gerados e depositados nas áreas urbanas e através deste levantamento foi verificado também que um bom gerenciamento e reaproveitamento desses materiais deverão proporcionar benefícios de ordem social, econômica e diminuir os impactos ambientais CONAMA (2005).

Os resíduos gerados na construção civil e demolição são compostos basicamente de 64% de argamassa, 30% de componentes de vedação (tijolos maciços, tijolos furados e blocos) e 6% de outros materiais, como concreto, pedra, areia, metais e plásticos. Quando reciclados podem gerar produtos com propriedades adequadas e custos inferiores ao preço médio dos produtos das argamassas convencionais CAMARGO (1995).

O resíduo de construção oriundo de demolição (RD) é composto principalmente de argamassas endurecidas e materiais cerâmicos, quando moído e transformado em material pulverulento, torna-se capaz de reagir com cal na presença da água e, assim, dá a um novo aglomerante hidráulico com propriedades semelhantes às das cãs pozolânicas FARIAS FILHO (2007).

O resíduo de construção e demolição (RCD) quando pode ser utilizado em substituição parcial ao material aglomerante, essa aplicação vem contribuir com os seguintes pontos:

- redução no consumo de energia de produção;
- redução dos custos de produção e construção;
- utilização de materiais com qualidades técnicas iguais ou superiores aos materiais convencionais;
- contribuição no aproveitamento de resíduos sólidos gerados pela construção civil, evitando assim ocupação de áreas para deposição destes e adoção de política correta para alcançar o desenvolvimento sustentável.

De acordo com a Resolução nº 307 (CONAMA, 2005) os resíduos da construção civil podem ser classificados da seguinte forma:

- i. classe A - são resíduos reutilizáveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reforma e reparos de pavimentação e de obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reforma e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidos nos canteiros de obras;
- ii. classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- iii. classe C - são os resíduos para os quais, ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- iv. classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Segundo Marques Neto (2005) os RCD podem ser definidos como todo rejeito de material utilizado na execução de etapas de obras da construção civil. Podem ser provenientes de construções novas, reformas, reparos, restaurações, demolições e obras de infra-estrutura.

De acordo com Moraes (2006), as terminologias resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos da construção civil (RCC) têm sido difundidas no meio acadêmico para denominar os resíduos sólidos gerados nas atividades de construção e demolição.

Nas obras de demolição propriamente ditas, a quantidade de resíduo gerado não depende diretamente dos processos empregados ou da qualidade do setor, pois o entulho produzido faz parte do processo de demolição. Os processos construtivos utilizados na obra demolida, e o sistema de demolição utilizado, influem na qualidade do resíduo gerado, ou seja, alguns sistemas construtivos e de demolição podem produzir resíduos com maior potencial para reciclagem que outros, onde a

mistura de materiais e componentes, ou sua contaminação podem favorecer ou não a reutilização e a reciclagem do resíduo (ZORDAN, 2002).

Na literatura, diversos autores utilizam o termo Resíduo de Construção e Demolição (RCD), outros preferem chamá-los apenas de entulho, não há um consenso na terminologia para o material estudado. Quanto à definição, há discordância não só quanto à abrangência das frações presente como também quanto às atividades geradoras dessas frações. (OLIVEIRA, 2004).

Quanto ao aspecto físico deve-se levar em consideração que um dos maiores problemas do resíduo da construção e demolição é a heterogeneidade, pois a sua composição mineral pode variar com a etapa em que se encontra a obra, podendo o mesmo apresentar alto teor de material cerâmico, durante a execução de alvenaria de tijolo cerâmico, ou de argamassa na fase de revestimento, ou ainda de concreto na fase estrutural.

### **2.2.1 Utilização do RCD na fabricação de tijolos e blocos de alvenaria**

Tijolos e blocos são produzidos com o material obtido pela mistura de solo, aglomerante (cimento ou cal) e água, que, depois de compactada ou prensada em moldes específicos, ganha resistência e durabilidade suficientes para diversas aplicações, especialmente para a execução de alvenarias.

Os tijolos podem ser usados em qualquer tipo de construção, para substituir os blocos cerâmicos convencionais, seja em alvenaria simples de vedação, ou alvenaria estrutural, desde que atendam às resistências estabelecidas no projeto. Os agregados reciclados podem ser utilizados para produção de blocos de alvenaria, porém podem ser utilizados também para produção de diversos elementos de alvenaria tais como, tijolos de solo-cimento e painéis pré-moldados.

### **2.2.2 Origem e Composição**

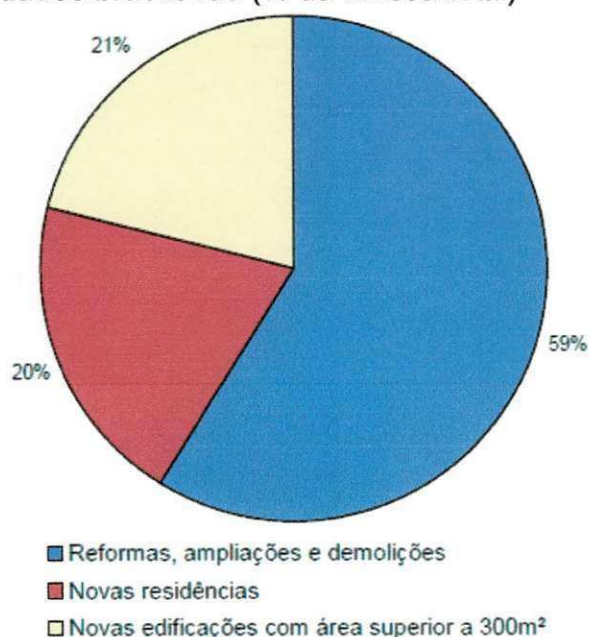
O entulho é gerado não só da substituição de componentes pela reforma como pela reconstrução. Muitas vezes é gerado por deficiências no processo construtivo: erros ou indefinições na elaboração dos projetos e na sua execução, qualidade dos materiais empregados, perdas na estocagem e no transporte. Estes desperdícios podem ser atenuados através do aperfeiçoamento dos controles sobre

a realização das obras e também através dos trabalhos conjuntos com empresas e trabalhadores da construção civil, visando aperfeiçoar os métodos construtivos, reduzindo a produção de entulho e os desperdícios de material.

De acordo com Moraes (2006) os resíduos da construção civil têm sua origem nas próprias atividades empreendidas nos canteiros de obras, ou seja, escavações, construções, reformas e demolições. Cada uma dessas atividades, ao empregar procedimentos técnicos específicos, produz diferentes quantidades e tipos de RCD.

A Figura 2.1 apresenta uma estimativa da porcentagem de RCD gerado em diferentes tipos de obras.

Figura 2.1 - Origem dos RCD em algumas cidades brasileiras (% da massa total)



Fonte: Adaptado de Pinto e Gonzáles (2005).

Levantamentos realizados em diversas cidades brasileiras mostram que os resíduos de construção e demolição (RCD) representam, em alguns casos, mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos.

Oliveira (2004) destaca que a composição do entulho está diretamente ligada à sua fonte geradora, isto é, construções, reformas, manutenção e demolições, bem como da fase da obra na qual foram obtidas as amostras.

Composição básica do resíduo de construção e demolição (RCD):



- concretos, argamassas e rochas que, em princípio, apresentam, na sua totalidade, bom potencial para reciclagem;
- blocos, tijolos e cerâmicos, que apresentam também alto potencial de utilização, sem necessitar de processo sofisticado de tratamento;
- solos, areia e argila, que podem ser facilmente separados dos outros materiais por peneiramento;
- asfalto, material com alto potencial de reciclagem em obras viárias;
- metais ferrosos, recicláveis pelo setor de metalurgia;
- madeiras, material apenas parcialmente reciclável, sendo que madeiras com proteção impermeabilizante ou pinturas devem ser consideradas como material poluente e tratados como resíduos químicos perigosos, devido ao risco de contaminação;
- outros materiais (plástico, borracha, papel, papelão, etc.) passíveis de reciclagem, embora esse processo nem sempre apresente vantagens que possam ser suportadas pelo atual estágio de desenvolvimento tecnológico; quando for o caso, esses materiais devem ser tratados como resíduos e dispostos de forma adequada.

### 2.3 RECICLAGEM DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os resíduos originários da construção civil têm sido ultimamente estudados quanto à sua reutilização como agregado para concretos, em blocos e tijolos não estruturais, por exemplo, ou diretamente em sub-base de vias públicas.

No Brasil não há normas que regulamentem a utilização de rejeitos de construção para produção de materiais de construção reciclados o que levou o setor produtivo a constituírem uma comissão patrocinada pelo SINDUSCON-SP, Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo, a preparar as primeiras recomendações para subsidiar a elaboração da norma que trata da utilização de agregado de concreto e de agregados de tijolos e argamassas para emprego como material para a construção civil (VAZQUEZ, 2000).

Segundo Vazquez (2000) a utilização de qualquer categoria de resíduo de construção e demolição (RCD) reciclado em concreto acarreta estudos para caracterização do efeito de contaminantes como os cloretos, gesso, materiais que

provocam a reação álcali-agregado e vidro, além da possibilidade da presença de asfalto.

Ângulo et al., (2001) destacam a necessidade de avaliar-se o risco ambiental da reciclagem de resíduo de construção e demolição (RCD) para produção de argamassas e concretos, mesmo apresentando viabilidade do ponto de vista tecnológico e econômico. A reciclagem desponta como a melhor alternativa para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria prima e a geração desordenada de resíduos (JADOVSKI, 2005).

Ultimamente a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo o mundo, seja por questões de ordens políticas, econômicas ou ambientais.

De acordo com Oliveira (2004) reciclar qualquer tipo de material, independente do uso que lhe for dado, representa as seguintes vantagens:

- ambientais – o impacto destes resíduos ao meio ambiente é muito significativo, seja na forma de depósitos irregulares, para os quais a administração pública ou órgãos ambientais. Em qualquer caso, a deterioração ambiental provocada é grande. Os benefícios ambientais com a reciclagem de resíduos são vários, não só por diminuir a deposição em locais inadequados como também por ser uma solução em minimizar a necessidade de extração de matérias-primas virgens, o que nem sempre é adequadamente fiscalizado.
- econômicas – reciclar é sempre menos custoso que descartar os resíduos recicláveis. Primeiro por que se pode fabricar um material alternativo com características semelhantes aos dos convencionais e segundo por que este novo produto estará dispensando em, pelo menos, 30% o uso de recursos naturais.
- sociais – as empresas da construção civil precisam assumir sua responsabilidade social, na forma de utilizar e indicar o produto com materiais reciclados podendo iniciar seu uso em obras de pequeno porte, tipo habitações populares, depois expandindo sua utilização em qualquer outro tipo de construção, uma vez comprovada sua qualidade e durabilidade.

Do ponto de vista da viabilidade técnica, o novo produto com uso de material reciclado deve satisfazer os ditames da ABNT e às solicitações a que estará submetido durante sua utilização.

## 2.4 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E O MEIO AMBIENTE

A geração dos resíduos de construção e demolição (RCD) nas cidades cresceu significativamente a partir de meados da década de noventa, segundo PINTO et al., (2005). São resíduos provenientes da construção da infra-estrutura urbana, de responsabilidade do poder público e, principalmente, da ação da iniciativa privada na construção de novas edificações residenciais, comerciais, industriais e outras.

Nas obras de demolição propriamente ditas, a quantidade de resíduo gerado não depende diretamente dos processos empregados ou da qualidade do setor, pois o entulho produzido faz parte do processo de demolição. Os processos construtivos utilizados na obra demolida, e o sistema de demolição utilizado, influem na qualidade do resíduo gerado, ou seja, alguns sistemas construtivos e de demolição podem produzir resíduos com maior potencial para reciclagem que outros, onde a mistura de materiais e componentes, ou sua contaminação podem favorecer ou não a reutilização e a reciclagem do resíduo. (ZORDAN, 2002).

A geração de resíduo de construção e demolição (RCD) em obras de reformas está ligada à falta de conhecimento técnico dos agentes responsáveis por estas atividades. A falta de uma cultura de reutilização e reciclagem e o desconhecimento da potencialidade do entulho reciclado como material de construção sendo a causa do grande volume de RCD gerado em obras de reformas (ZORDAN, 2002).

Cassa et al., (2001) apontam como fatores que contribuem para a geração de RCD: a indefinição e detalhamento insuficiente nos projetos, a qualidade inferior dos materiais e componentes de construção disponíveis no mercado, a mão-de-obra não qualificada e a ausência de procedimentos operacionais e mecanismos de controle de execução e inspeção.

Segundo Carneiro et al., (2001), a construção civil é considerada uma das atividades que mais geram resíduos e alteram o meio ambiente, em todas as suas fases, desde a extração de matérias-primas, até o final da vida útil da edificação. Essas alterações sobre o meio ambiente abarcam desde as etapas de construção de determinado empreendimento até os momentos de manutenção, reforma, ampliação, desocupação e demolição.

Segundo Leal, (2004) o beneficiamento dos resíduos de construção civil traz grandes benefícios ao meio ambiente, pois o uso de pozolanas reduz significativamente a emissão de gases na atmosfera, e recicla resíduos, geralmente depositados a céu aberto, como resíduos cerâmicos, entulhos da construção civil, escórias de alto forno, escórias de aciaria, cinzas da casca de arroz e outros.

A Tabela 2.1 apresenta a estimativa da geração de resíduo da construção civil em alguns municípios brasileiros.

Tabela 2.1 - Geração de RCD em alguns municípios brasileiros.

<b>Municípios</b>	<b>População censo 2000 (mil)</b>	<b>Novas Edificações (t/dia)</b>	<b>Reformas, ampliações e demolições</b>	<b>Remoção deposições (t/dia)</b>	<b>Total RCD (t/dia)</b>	<b>Taxa (t/ano por hab.)</b>
São José dos Campos	539	201	184	348	733	0,47
Ribeirão Preto	505	577	356	110	1043	0,71
Santo André	649	477	536	-	1013	0,51
São José do Rio Preto	359	244	443	-	687	0,66
Jundiá	323	364	348	-	712	0,76
Vitoria da Conquista	262	57	253	-	310	0,40
Uberlândia	501	359	359	241	958	0,68
Guarulhos	1073	576	732	-	1308	0,38
Diadema	357	137	240	81	458	0,59
Piracicaba	329	204	406	-	620	0,59

Fonte: Adaptado de Pinto e Gonzáles (2005).

## 2.5 POZOLANA

O termo pozolana, por sua vez, foi utilizado pela primeira vez na Itália, no ano 300 a.C. para descrever as cinzas vulcânicas provenientes da vila de Pozzuoli, próxima à cidade de Napolis.

Os materiais pozolânicos podem ser classificados como naturais ou artificiais. As pozolanas naturais são provenientes de rochas, de origem vulcânica ou sedimentar, e que em geral necessitam apenas de uma moagem para serem utilizadas. As pozolanas artificiais são obtidas de processos industriais ou como subprodutos.

As normas ASTM C 618 (2006) e ABNT NBR 12653 (2006), definem as adições pozolânicas como materiais silicosos ou sílico-aluminosos, que por sua constituição possuem pouca ou nenhuma propriedade cimentícia, mas, quando

moídas e na presença de água, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio, formando compostos com propriedades cimentantes.

### 2.5.1 Classificação das Pozolanas

A norma da ABNT NBR 12653 (2006) classifica os materiais pozolânicos em três classes, conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Classificação das pozolanas

Classe N	Pozolanas naturais, materiais vulcânicos, terras diatomáceas, argilas calcinadas.
Classe C	Cinza Volante proveniente da queima de carvão betuminoso
Classe E	Os materiais que diferem das classes anteriores e a cinza volante proveniente da queima de carvão sub-betuminoso

Fonte: NBR 12653 (2006)

A norma da ABNT NBR 12653 (2006) estabelece algumas exigências mínimas para os materiais pozolânico, com relação às características químicas (Tabela 2.3) e físicas (Tabela 2.4).

Tabela 2.3 - Exigências químicas para materiais pozolânicos

PROPRIEDADES	CLASSE DO MATERIAL POZOLÂNICO		
	N	C	E
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% mínima)	70,0	70,0	50,0
SO <sub>3</sub> (% máxima)	4,0	5,0	5,0
Teor de Umidade (% máxima)	3,0	3,0	3,0
Perda ao Fogo (% máxima)	10,0	6,0	6,0
Álcalis Disponíveis em Na <sub>2</sub> O (% máxima)	1,5	1,5	1,5

Fonte: NBR 12653 (2006)

Tabela 2.4 - Exigências físicas para materiais pozolânicos

PROPRIEDADES	CLASSE DO MATERIAL POZOLÂNICO		
	N	C	E
Material retido na Peneira 45 µm (%máxima)	34,0	34,0	34,0
Índice de atividade pozolânica: Com cimento aos 28 dias, em relação ao controle (% mínima)	75,0	75,0	75,0
Com cal aos 7 dias, em MPa (resist. mínima)	6,0	6,0	6,0
Água requerida (% máxima)	115,0	110,0	110,0

Fonte: NBR 12653 (2006)

As propriedades exigidas das pozolanas para um determinado propósito são prescritas pela ASTM 618 (2006) e ABNT 12653 (2006).

### 2.5.2 Atividade Pozolânica

Entende-se por atividade pozolânica como a capacidade que uma determinada pozolana tem em reagir com o hidróxido de cálcio, isto é, quanto maior o valor do hidróxido de cálcio consumido pela pozolana, maior sua atividade. Esta reação se processa da seguinte forma: durante as reações de hidratação do  $C_2S$  e  $C_3S$  ocorre a formação do  $Ca(OH)_2$ .

A sílica existente nas pozolanas reage com o  $Ca(OH)_2$ , formando os silicatos de cálcio hidratados (CSH) que tem menor reação  $CaO/SiO_2$ , formando produtos de menor basicidade do que os produzidos pela hidratação dos silicatos de cálcio do cimento e, portanto, são mais estáveis quimicamente. Esta reação, bem como a taxa de liberação de calor e o desenvolvimento da resistência são lentos. (NITA e JOHN, 2007).



Esta reação ocorre em temperatura ambiente, e é geralmente lenta podendo levar meses para ser completada, entretanto, quanto mais vítrea e mais fina for à pozolana, mais rápida será a reação com a cal. Ao se utilizarem adições ativas misturadas ao cimento Portland, em proporções adequadas, teoricamente, toda a cal produzida pela hidratação do  $C_3S$  e  $C_2S$  poderia ser transformada em CSH, porém, em condições reais, a reação pozolânica nunca é completa (AÏTCIN, 2000).

Leite e Molin (2002) avaliaram a atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado do RCD. Foi determinado o índice de atividade pozolânica do material cerâmico com a cal e o cimento de acordo com as normas brasileiras. Os resultados obtidos da resistência apontaram que há atividade pozolânica do material cerâmico tanto com o cimento quanto com a cal.

Para Farias Filho (2007), a determinação da atividade pozolânica de um material é bastante difícil devido à inexistência de um critério absoluto. Portanto se faz necessário para utilizar de maneira satisfatória o resíduo de construção e demolição (RCD) reciclado como substituição parcial do aglomerante, efetuar

ensaios baseados em diferentes aspectos, como: manifestação da resistência mecânica e atividade química.

A atividade pozolânica depende da percentagem de sílica e da alumina. A sílica confere resistência mecânica às pozolanas, sendo desejável que elas tenham no mínimo 40% de  $\text{SiO}_2$  e até 30% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e teores mínimos de CaO e MgO. A atividade pozolânica de um material pode ser determinada de várias maneiras, através da avaliação da resistência mecânica, visto que a análise química não é suficiente para tal fim, embora seja útil no controle qualitativo das pozolanas.

## 2.6 TIJOLOS INCORPORADOS COM RESÍDUOS

Diversos estudos e pesquisas vêm sendo realizados com o objetivo de verificar a qualidade e a viabilidade em se empregar essa matéria prima (resíduo de demolição) na produção de novos materiais de construção, visando tornar o setor da construção civil mais sustentável e solucionar graves problemas ambientais causados pela deposição desses resíduos na natureza.

O entulho quando gerado, cria simultaneamente duas porções de entulho: não recicláveis e recicláveis. A parte reciclável (se não for utilizada para aterro) deve sofrer um tratamento, constituído por uma operação de britagem ou de moagem, que permita obter um material cuja granulometria esteja dentro de limites especificados e assim possibilitar seu uso como agregado em argamassa, concreto ou atividade correlata (OLIVEIRA, 2004).

Silva et al., (2008) estudaram a incorporação de resíduo de EVA, 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, e painéis com diversas misturas. Os resultados mostraram que à medida que o teor de EVA foi aumentado, a resistência à compressão dos tijolos diminuíram sensivelmente. Apesar da diminuição da resistência dos tijolos, a incorporação de resíduo de EVA na mistura de solo com 10% de cimento em massa atenderam aos critérios da norma de alvenaria de vedação sem fim estrutural.

Milani e Freire (2008) estudaram os efeitos da adição da casca de arroz nas propriedades físico-mecânicas da mistura de solo-cimento, visando à obtenção de composições de solo-cimento-casca de arroz com potencialidade para fabricação de

materiais alternativos de construção. Foram determinados ensaios de 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.

Jadovski (2005) estudou a viabilidade técnica da utilização do resíduo de demolição na fabricação de blocos de alvenaria. Os resultados médios de RCS variaram de 1,9 MPa até 5,5 MPa e os valores médios de absorção por imersão variaram de 7% até 14,5%.

## 2.7 TIJOLOS ECOLÓGICOS

Para a fabricação de tijolos ecológicos com resíduos da construção civil utiliza-se uma mistura constituída de solo, resíduos, cimento ou cal e água potável, devidamente e compactado em prensa manual ou hidráulica. Este tijolo difere do tijolo tradicional, pois dispensa a queima e colabora muito com o meio ambiente, pois além de não ser preciso cortar árvores para a queima, evitando a emissão de gases tóxicos para atmosfera. Outro fator importante do produto é o seu design do tipo modular, reduz muito o valor da mão de obra e o tempo gasto na hora da construção.

Segundo a revista Meio Ambiente Industrial (2007, p. 70) “O maior desafio no atual cenário industrial em relação ao meio ambiente é enxergar a longo prazo. Muitas ações que estão sendo tomadas agora podem refletir de maneira negativa ou positivas em um futuro próximo.”

O tijolo ecológico é uma excelente matriz para o aproveitamento dos resíduos agroindustriais, de mineração, de construção civil e de demolição (RCD), entre

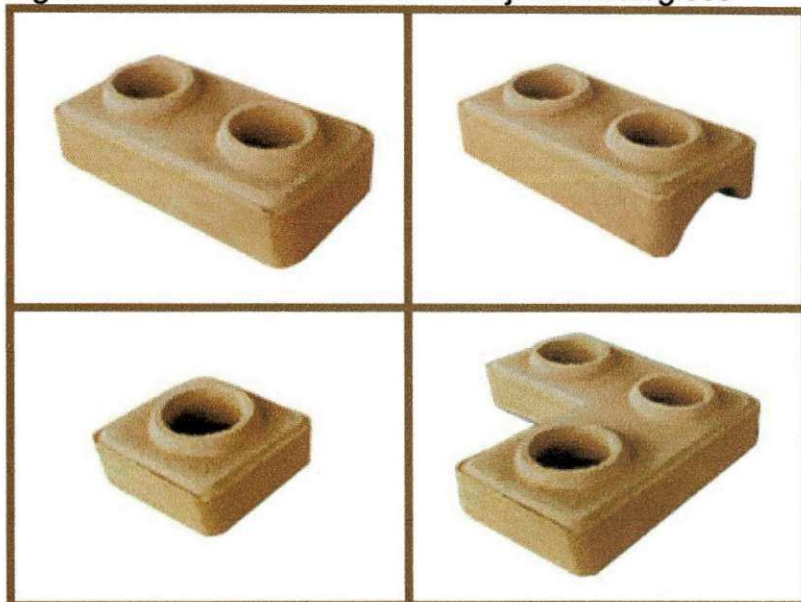


outros, possibilitando a adição de um grande percentual de resíduos em relação à massa de solo, sem prejuízos para as características do solo-cimento. Portanto, existem diversas vantagens na fabricação e na utilização do tijolo ecológico, como:

- eliminação do processo de queima;
- diminuição do uso do cimento devido ao encaixe perfeito;
- pode ser utilizado o próprio tijolo a vista, proporcionando um bom acabamento e no caso da utilização do reboco, 5 mm de espessura é suficiente;
- elimina o uso da madeira, pois as vigas e pilares são feitos dentro do próprio tijolo;
- se optar por utilizar o reboco, necessita menos cimento do que na forma convencional, pois a camada necessária é finíssima;
- os furos em seu interior, oferece isolamento térmico e acústico devido as câmaras de ar, oferecendo isolamento térmico e acústico. Nos dias mais frios, temperaturas sempre aquecidas e no calor, proporciona uma sensação de frescor.
- apresenta maior resistência mecânica;
- maior uniformidade de fabricação;
- combate a umidade, proporcionado uma evaporação de ar, evitando a formação de ar nas paredes e no interior da construção, não causando danos a saúde e a construção;
- toda a instalação hidráulica e elétrica é feita pelos orifícios dos tijolos;
- menor peso;
- pode ser feito o assentamento de azulejos diretamente sobre o piso;

A Figura 2.2 apresenta os modelos mais utilizados de tijolos ecológicos.

Figura 2.2 – Modelos diversos de tijolos ecológicos



Fonte: Tijolos Lapin (2009)

A Tabela 2.5 apresenta as dimensões dos diversos tipos de tijolos de solo-cimento ou solo-cal.

Tabela 2.5 – Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento ou solo-cal

<b>Tipo</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Características</b>
maciço comum	5 x 10 x 20 cm 5 x 10 x 21 cm	Assentamento com consumo de argamassa similar dos tijolos maciços comuns
maciço com encaixes	5 x 10 x 21 cm 5 x 11 x 23 cm	Assentamento com encaixes com baixo consumo de argamassa
1/2 tijolo com encaixes	5 x 10 x 10,5 cm 5 x 11 x 11,5 cm	Elemento produzido para que não haja quebra na formação dos aparelhos com juntas desencontradas
tijolos com dois furos e encaixes	5 x 10 x 20 cm 6,25 x 12,5 x 25 7,5 x 15 x 30 cm	Assentamento a seco, com cola branca ou argamassa bem plástica. Tubulações passam pelos furos verticais
1/2 tijolo com furo e encaixe	5 x 10 x 10 cm 6,25 x 12,5 x 12,5 7,5 x 15 x 15 cm	Elemento produzido para acertar os aparelhos, sem a necessidade de quebras
canaletas	5 x 10 x 20 cm 6,25 x 12,5 x 25 7,5 x 15 x 30 cm	Elemento empregado para execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagens de tubulações horizontais

Fonte: Tijolos Lapin (2009)

Os tijolos citados podem ser confeccionados para serem revestidos ou para serem utilizados à vista, para vedação ou estruturais. As alvenarias também podem receber pinturas de diversas matérias-primas para estarem mais protegidas contra as intempéries. Os tijolos podem ser totalmente maciços, similares aos tijolos maciços comuns, ou furados (Figura 2.2).

## 2.8 SOLO-CAL

Há mais de 3.000 anos, solos melhorados já eram usados na construção de templos na Babilônia, esse é, provavelmente, o mais antigo método popular de construção. O uso de solo 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 (LIMA, 2010).

Segundo Lopes Junior (2007), a utilização da cal como aditivo no tratamento de solos para as mais variadas aplicações é o mais antigo método de estabilização conhecida. Define ainda solo-cal como o produto resultante da mistura íntima compactada de solo, cal e água, em proporções estabelecidas através de dosagem.

Os solos tratados com cal podem sofrer alterações significativas nas suas propriedades, conforme a idade da mistura, sendo estas alterações percebidas no seu desempenho como material de construção.

O sistema solo-cal, apesar de suas antigas aplicações e intensivas pesquisas, ainda não possui uma normatização. No entanto, centros de tecnologias e pesquisas e até mesmo setores industriais da construção, lançaram cartilhas para a difusão deste sistema, a exemplo da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial – NUTEC (1985) com o “Manual de Fabricação de Tijolos de Solo-Cal” (MILANI, 2005).

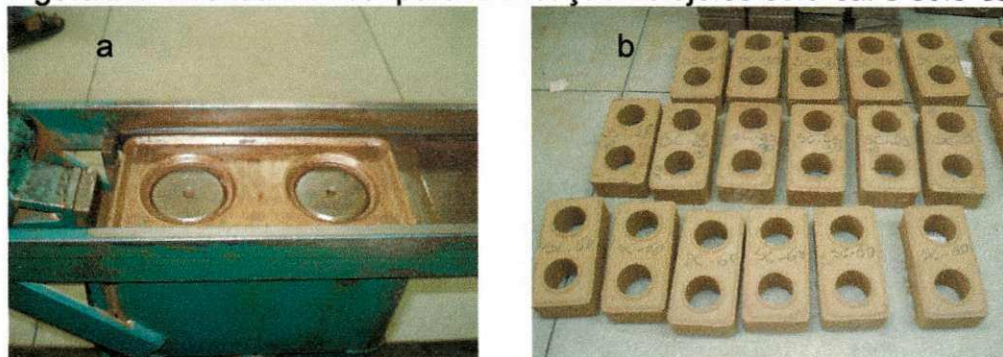
## 2.9 TIJOLOS SOLO-CAL

O processo de fabricação de tijolos de solo estabilizado com cal é bastante simples e adequado aos sistemas de produção automatizada. Utiliza-se um dispositivo mecânico com sistema de alavanca para prensagem. O princípio fundamental desse equipamento consiste em submeter à mistura de solo, cimento

ou cal e água a pressões elevadas dentro de moldes metálicos, o que resulta em tijolos com formas e dimensões desejadas. Após pequeno período de cura, o tijolo fabricado apresenta resistência à compressão similar à de bloco cerâmico, sendo sua resistência tanto mais elevada quanto maior for à quantidade de aglomerante empregada. No entanto, esse consumo deve ser limitado a um teor ideal, que confira ao tijolo a resistência necessária com o menor custo (CARVALHO e POROCA, 1995).

A Figura 2.3a ilustra a prensa manual para a fabricação de tijolos com furos (encaixe) e a Figura 2.3b apresenta os tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição.

Figura 2.3: Prensa manual para fabricação de tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo



Segundo Carneiro et al., (2001) Os tijolos de solo estabilizado que é 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 do tijolo, há uma excessiva redução do consumo de energia e, por conseqüência, de danos ambientais à sua fabricação.

Estudos utilizando os tijolos solo-cal vêm se desenvolvendo ao longo do tempo, na perspectiva de viabilizar a utilização do mesmo na construção civil. Alguns trabalhos se destacam nessa prática:

Segundo Ferreira (2003) a incorporação de cinzas de carvão mineral e cinzas de casca de arroz com tijolos solo-cimento, apresentaram composições satisfatórias de 50% de cinza de carvão mineral + 40% de solo + 10% de cimento e 25% de cinza de carvão mineral + 25% de cinza de casca de arroz + 40% de solo + 10% de cimento. A resistência à compressão simples, aos 28 dias de cura, foi de 8,5 MPa e

5,3 MPa, respectivamente, valores superiores a resistência obtida com tijolos de solo-cimento apenas (3,1 MPa). A absorção de água com a adição desses resíduos também ficou dentro das exigências, ou seja, abaixo de 20%.

Sousa; Segantini e Pereira (2008) verificaram que o comportamento mecânico com amostras de tijolos confeccionados com 0%, 20%, 40% e 60% de resíduos de concreto e porcentagens de 6, 8 e 10% de cimentos, levaram a concluir que os tijolos que possuíam resíduos na sua composição mesmo com menos cimento, eram mais resistentes.

Akasaki (2001), avaliando o comportamento de misturas de solo-cal como alternativas para a fabricação de tijolos maciços crus, verificou a grande potencialidade da mistura. Segundo o autor, os teores de cal recomendados para se alcançar maior resistência da mistura variaram entre 4 a 10%, tendo o teor de 10% da cal alcançando os maiores valores de resistência à compressão simples e tração na compressão diametral no decorrer de 180 e 360 dias.

Picchi et al. (1990) utilizaram solo I e cal cálcica para a confecção de tijolos de solo-cal em prensa manual. Após a realização dos ensaios, os autores concluíram que a resistência à compressão do tijolo cresce com o teor de cal, apresentando melhor comportamento frente à variação dimensional, absorção d'água, durabilidade e resistência à compressão simples. Os valores de resistência dos tijolos de solo-cal, após cura de 28 dias em ambiente natural, atingiram 2 MPa estando os teores de absorção d'água compreendidos entre 20,6% e 25,6%.

Guimarães (1998) relatou que painéis de tijolos de solo-cal, construído em local sem qualquer proteção, expostos a intempéries por 4 anos, atingiram resistência à compressão simples de: 0,86 MPa aos 30 dias de cura; de 0,94 MPa aos 120 dias de cura e 2,07 MPa aos 180 dias de cura, reforçando o conceito da continuidade dos processos das reações de formação de compostos cimentantes na mistura solo-cal.

## 2.10 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE SOLO E DOSAGEM DE TRAÇO

O solo é o elemento que entra em maior proporção na mistura, devendo ser selecionado de modo a permitir o uso da menor quantidade possível de estabilizante. O solo a ser utilizado não deve conter material orgânico, já que a presença deste interfere na reação de hidratação da cal.

A ABCP (1988) recomenda, para a escolha do traço mais adequado, moldar tijolos com proporções, em volume, de cimento e solo de 1:10, 1:12 e 1:14. A proporção adotada da mistura para a fabricação dos tijolos será a que apresentar menor consumo de cimento e que atender aos critérios de resistência à compressão e absorção de água estabelecida pela NBR 8491.

O critério para escolha do melhor solo para o experimento deve ser baseado nas Normas da ABNT NBR 10832 (1989), cujos requisitos são apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Requisitos de seleção do solo para a fabricação dos componentes de alvenaria

CARACTERÍSTICA	REQUISITOS (%)
% passando na peneira ABNT 4,8 mm (nº 4)	100
% passando na peneira ABNT 0,075 mm (nº 200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Fonte: ABCP (1988).

Considerando-se a falta de normatização que defina as características necessárias ao solo para a confecção dos tijolos solo-cal e tendo em vista que a cal exercerá no tijolo a mesma função que o cimento, pode-se ter como satisfatório o solo que possua as mesmas características exigidas para a confecção dos tijolos solo-cimento. Para determinação de tais características se faz necessário a realização de ensaios de caracterização do solo tais como, análise granulométrica e ensaio de determinação dos limites de Atterberg.

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 o estado líquido – plástico – semi-sólido – sólido (CARVALHO, 2004 *apud* LIMA, 2010).

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 ligadas as variações de volume por absorção de água (LIMA, 2010).

De acordo com Ceped-Thaba (1984) *apud* Santos (2009), podem-se adotar critérios baseados no teor de areia, tendo em vista a simplificação dos procedimentos de escolha do solo mais adequado à confecção desses tijolos.

Assim, recomendam que a especificação do solo com fração passante na peneira de 4,8 mm da ABNT, deve seguir a seguinte composição:

- 45% a 90% de teor de areia;
- 10% a 55% de teor de silte +argila;
- <20% teor de argila;
- <45% limite de liquidez.

Caso o solo disponível não satisfaça a esses parâmetros, tem-se a possibilidade de se fazer sua correção adicionando-se areia ou outro solo. Desde que para tanto se avalie sempre a viabilidade técnica e econômica, SANTOS (2009).

Para estabilizações comuns, são normalmente praticadas dosagens na ordem dos 6 a 12%. No entanto, a dosagem correta do estabilizante, cal, para um solo específico pode ser determinada, recorrendo-se a ensaios.

A cal tem pouco efeito em solos altamente orgânicos e também em solos com pouca ou nenhuma quantidade de argila. É mais eficiente em solos argilosos, podendo ser mais efetivo que o cimento em pedregulhos argilosos (LOPES JUNIOR, 2007).

## 2.11 CAL

De acordo com Lovato (2004), a cal é um aglomerante que resulta da calcinação de rochas carbonatadas constituídas por carbonato de cálcio, e/ou carbonato de cálcio e magnésio.

Alcântara et al.,(1996) estudaram a viabilidade técnica quanto ao emprego de solo-cal como material de construção. Na fabricação de tijolos, a incorporação da cal adicionada ao solo tem se mostrado promissor com resultados satisfatórios, quando da escolha adequada de seus componentes, bem como os teores de cal.

Castro (2008), *apud* Lovato (2004), afirma que quando se adiciona cal a um solo fino na presença de água, ocorrem reações químicas em duas etapas distintas: a etapa rápida que se caracteriza por reações químicas de interação da cal, como trocas catiônicas e floculação-aglomeração, podendo durar de horas a dias e a outra

é a etapa lenta, onde se tem o aumento na resistência do material, com as reações pozolânicas, que são responsáveis pela formação de produtos cimentantes, podendo esta durar de meses a anos. Porém diferentemente destas, as reações de carbonatação que são prejudiciais à composição solo-cal, também são características da fase lenta.

A carbonatação além de formar compostos cimentantes fracos, ainda leva a cal a perder reatividade, já que na forma de carbonato a cal torna-se inerte, prejudicando seu processo de estabilização.

As reações pozolânicas são responsáveis pelo contínuo aumento da resistência mecânica de misturas solo-cal. Esse aumento ocorre porque as fontes de sílica, alumina e ferro presentes no solo reagem com a cal e a água, formando diversos produtos cimentantes (CAMPELLO *et al.*, 2000 *apud* LOVATO, 2004).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 MATERIAIS**

- **Resíduos da Construção Civil**

O resíduo de construção utilizado neste trabalho de pesquisa foi proveniente da demolição do Laboratório de Solos I da UFCG/CAMPUS I, localizado na cidade de Campina Grande-PB.

- **Solo**

A amostra de solo foi proveniente de uma jazida próxima ao Condomínio Atmosfera, na BR-104 saída para a cidade de Lagoa Seca – PB.

- **Cal Hidratada**

A Cal hidratada utilizada é conhecida comercialmente como “Carbomil” foi proveniente de uma fábrica no Município de Limoeiro do Norte, CE.

- **Água**

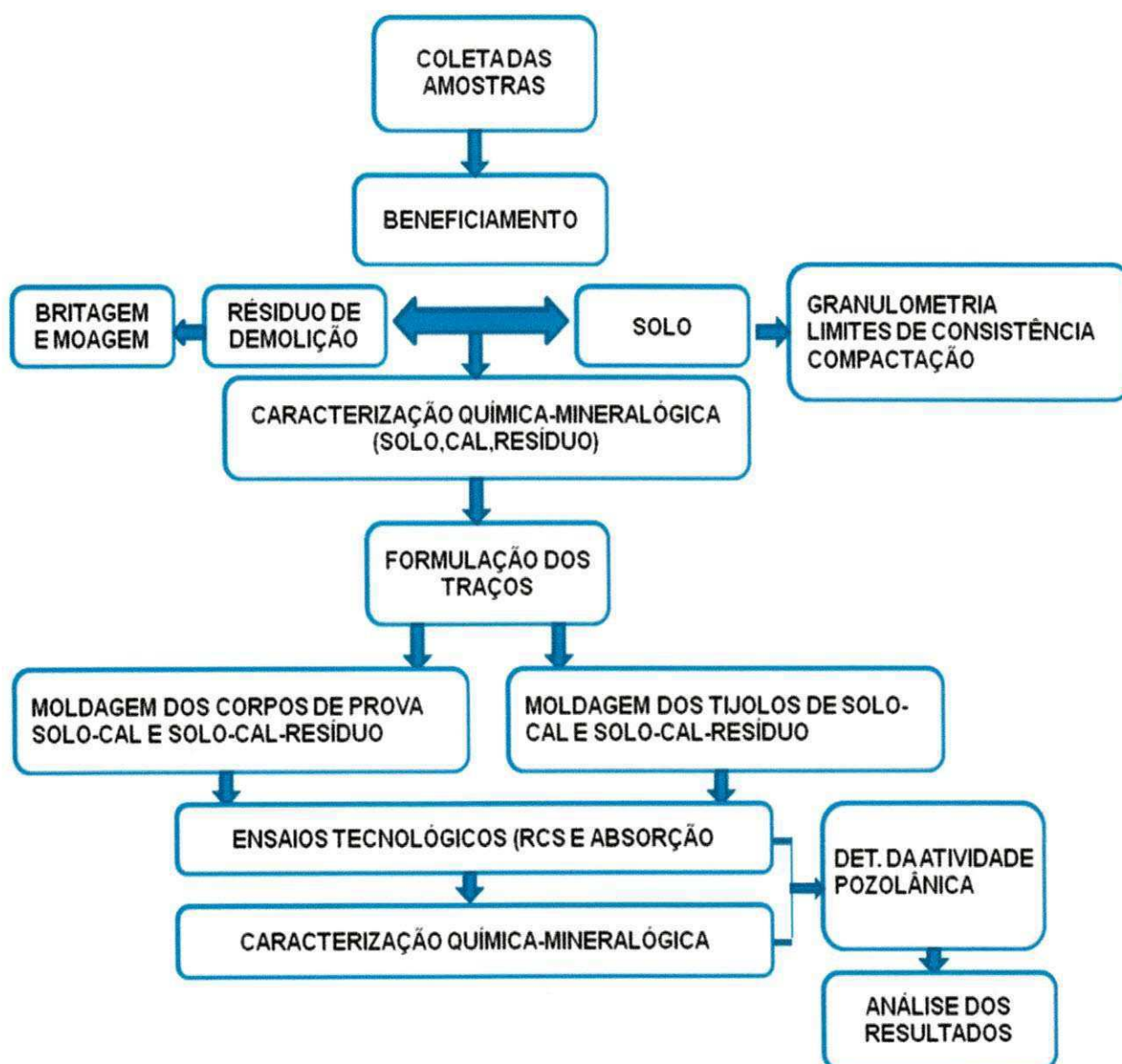


Foi utilizada água potável, fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, para o sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande – PB.

### 3.2 MÉTODOS

O Fluxograma da Figura 3.1 apresenta as etapas executadas neste trabalho.

Figura 3.1 - Fluxograma das etapas metodológicas

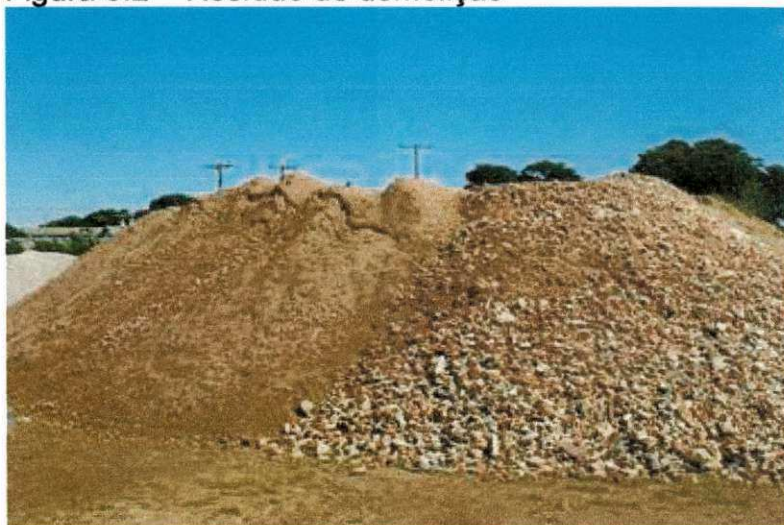


### 3.2.1 Beneficiamento das matérias primas

- Resíduo de demolição da construção civil

Os resíduos de demolição (Figura 3.2) foram coletados segundo a Norma da ABNT NBR 10007 (2004). Após a coleta, os resíduos de demolição passaram por processo de separação de materiais indesejáveis para este estudo, tais como: madeira, ferro, plástico, gesso, etc. Essas amostras, depois de selecionadas e separadas, foram armazenadas em sacos plásticos para evitar o contato direto com a umidade relativa do ar, perda de material ocasionado devido às chuvas e ao vento, ou mesmo contaminação por outros materiais.

Figura 3.2 – Resíduo de demolição

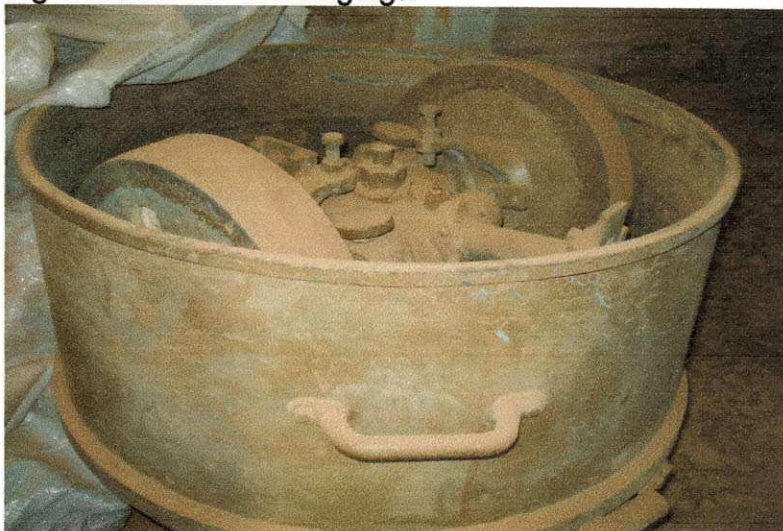


Fonte: Própria

O resíduo de demolição foi beneficiado com o uso de um britador de mandíbulas, em seguida foi triturado em moinho de galga e passado em peneira ABNT N°200 (0,074 mm), para os ensaios de caracterização.

A Figura 3.3 apresenta o moinho de galga utilizado para o beneficiamento do resíduo de demolição.

Figura 3.3 - Moinho de galga



Fonte: Própria

- Solo

O solo foi coletado segundo a Norma da ABNT NBR 10007 (2004), seco ao ar, destorroado e passado em peneira ABNT n°4 (4,8mm). A preparação das amostras de solo para os ensaios de caracterização foram preparadas de acordo com a norma da ABNT NBR 6457 (1986).

### 3.2.2 Caracterização dos materiais

Os ensaios de caracterização física-mineralógica dos materiais utilizados neste trabalho de pesquisa foram: atividade pozolânica; massa específica real para materiais pulverulentos e para solos; superfície específica (Blaine); análise granulométrica por peneiramento; limites de liquidez e plasticidade do solo; compactação; composição química; difração de raios-x e análise térmica diferencial e termogravimétrica.

- Atividade Pozolânica

A atividade pozolânica do resíduo de construção foi avaliada em relação ao fator de água-aglomerante, o solo utilizado e as condições de cura, segundo a norma da ABNT NBR 5751 (1992) modificada, ou seja, o índice de atividade pozolânica foi determinado pela diferença de resistência à compressão simples do

traço referência solo-cal e o traço incorporado com resíduo solo-cal-resíduo de demolição.

- Massa específica real

A determinação da massa específica real do resíduo de demolição e da cal foi realizada segundo a norma da ABNT NBR 6474 (1984). O método consiste em determinar o volume do material sólido de massa conhecida, excluindo todos os poros, dentro de picnômetro com capacidade de 50 ml. Enquanto que a massa específica real do solo foi realizada de acordo com a norma da ABNT NBR 6508 (1984). O método consiste em determinar o volume do material sólido de massa conhecida, excluindo todos os poros, dentro de picnômetro com capacidade de 500 ml.

- Área específica

Foi determinada segundo o método - Permeâmetro de Blaine MB 348 da ABNT (1966), usando como padrão amostra de cimento fornecido pela Associação Brasileira de Cimento Portland de superfície específica igual a  $0,342 \text{ m}^2/\text{g}$  e massa específica de  $3,42 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Os resultados obtidos consistem da média de três determinações, com desvio relativo máximo de 2% e expressos em  $\text{m}^2/\text{g}$ , com aproximação de três casas decimais.

- Análise granulométrica por peneiramento

A análise granulométrica por peneiramento foi determinada conforme a norma da ABNT NBR 7181(1984).

- Limites de Atteberg

Os limites de liquidez e plasticidade nos fornecem informações sobre o material, quanto à sua trabalhabilidade. Os limites de Atterberg do solo empregado neste trabalho de pesquisa foram determinados conforme as metodologias propostas pelas normas da ABNT NBR 6459 (1988) e NBR 7180 (1984).

- Análise granulométrica por difração a laser

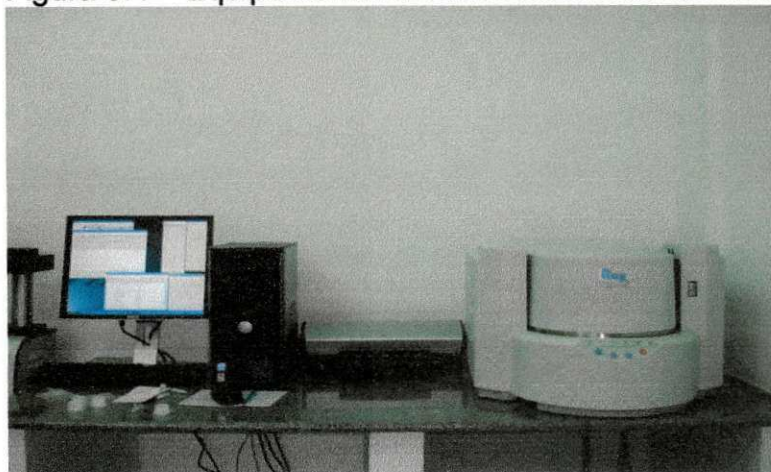
A análise granulométrica por difração a laser utiliza o método de dispersão de partículas em fase líquida associada com um processo de medida óptica. Neste método é combinada a relação proporcional entre a difração do laser e a concentração e tamanho das partículas.

Para realização desse ensaio as amostras foram beneficiadas em peneira ABNT nº 200 (0,074mm), dispersas em 250ml de água destilada em seguida foram colocadas em um agitador com velocidade de 17000 rpm por um período de 10min. Após a dispersão foi depositada num equipamento Modelo 1064 da CILAS, em modo úmido, até atingir a concentração ideal, que é de 150 unidades de difração/área de incidência.

- Análise química

A técnica utilizada para obtenção da análise química foi à espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), em equipamento EDX 700 da marca Shimadzu (Figura 3.4). Esta técnica baseia-se no princípio de que a absorção de raios-X pelo material provoca a ionização interna dos átomos, gerando uma radiação característica conhecida como “fluorescência”. Para serem submetidas a este ensaio as amostras de solo, cal e resíduo de demolição foram beneficiadas em peneira ABNT nº 200 (0,074mm).

Figura 3.4 – Equipamento EDX 700 da marca Shimadzu



Fonte: Própria

- Difração de raios X

A difração de raios X foi utilizada para caracterização mineralógica das matérias-primas convencionais e alternativas utilizadas neste trabalho de pesquisa. O equipamento utilizado foi o Difratorômetro SHIMADZU XRD-6000 (Figura 3.5) com radiação  $\text{CuK}\alpha$ , tensão de 40kV, corrente de 30 mA, modo fixed time, com passo de 0,02 e tempo de contagem de 0,6 s, com ângulo  $2\theta$  percorrido de  $10^\circ$  a  $60^\circ$ , o mesmo utilizado por SOUZA (2008).

Esta análise foi realizada no Laboratório de Caracterização do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - PB.

Figura 3.5 – Difratorômetro de raios-X SHIMADZU XRD – 6000



Fonte: Própria

- Análise térmica diferencial e gravimétrica

Com o objetivo de conhecer o comportamento térmico (estabilidade e decomposição) das matérias-primas convencionais e alternativas utilizadas neste trabalho de pesquisa, ou seja, as faixas de temperaturas em que ocorrem as transformações endotérmicas e exotérmicas foram realizadas análises termogravimétricas (TG) e térmica diferencial (DTA) utilizando o equipamento de análises térmicas (Figura 3.6), Modelo BP Engenharia, Sistemas de Análises Térmicas, RB 3020, com taxa de aquecimento de  $12,5^\circ\text{C}/\text{min}$ . A temperatura máxima utilizada foi de  $1000^\circ\text{C}$  e o padrão utilizado na DTA foi o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) calcinado.

Figura 3.6 – Equipamento de ATD e ATG Modelo BP Engenharia



Fonte: Própria

### 3.2.3 Ensaio Tecnológicos

- Moldagem e cura dos corpos de prova

Neste trabalho de pesquisa foram moldados corpos de prova cilíndricos de solo-cal no traço 1:10, conforme a norma da ABNT NBR 12024 (1992) com dimensões 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Foi adicionado a este traço o resíduo de demolição da construção civil em substituição a parte do aglomerante (cal) nos percentuais de 0%, 10%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50% e 75%. O fator água/aglomerante foi de 1,98, determinado através da umidade ótima do ensaio de compactação.

Todos os materiais foram homogeneizados em um misturador mecânico com capacidade de 20 litros. Para cada composição determinada foram moldados 24 corpos de prova, totalizando 192, que foram separados em grupos de 8 para cada período de cura aos 28, 60 e 90 dias.

Os corpos de prova foram identificados e acondicionados em pequenos sacos plásticos (Figura 3.7a) para manutenção da umidade e dispostos a cura em câmara úmida (Figura 3.7b) com 100% de umidade relativa e temperatura  $22^{\circ}\text{C} + 0,5$ . Após o processo de cura foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples e absorção de água.

Figura 3.7 – Cura dos corpos de prova para ensaios de RCS e ABS



Fonte: Própria

Fonte: Própria

A Tabela 3.1 apresenta o quantitativo dos corpos de prova para serem submetidos aos ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água.

Tabela 3.1 - Quantitativo dos corpos de prova sem resíduo e com diferentes percentuais de resíduo de demolição

Resíduo	0%		10%		20%		25%		30%		40%		50%		75%	
	res.	abs.	res.	abs.	res.	abs.	res.	abs.	res.	abs.	res.	abs.	res.	abs.	res.	abs.
Cura																
28 dias	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3
60 dias	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3
90 dias	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3
Por traço	24		24		24		24		24		24		24		24	
Total	192															

Analisando a Tabela 3.1 observa-se claramente que para determinação da resistência à compressão foi moldado um total de 120 corpos de prova que foram divididos por 3, tendo como resultado 40 corpos de prova, ou seja, 5 corpos de prova para cada composição e idade de cura determinado.

Para determinação da absorção de água foram moldados 72 corpos de prova, que foram divididos por 3, tendo com resultado 24 corpos de prova, ou seja, 3 corpos de prova para cada composição e idade de cura determinado.

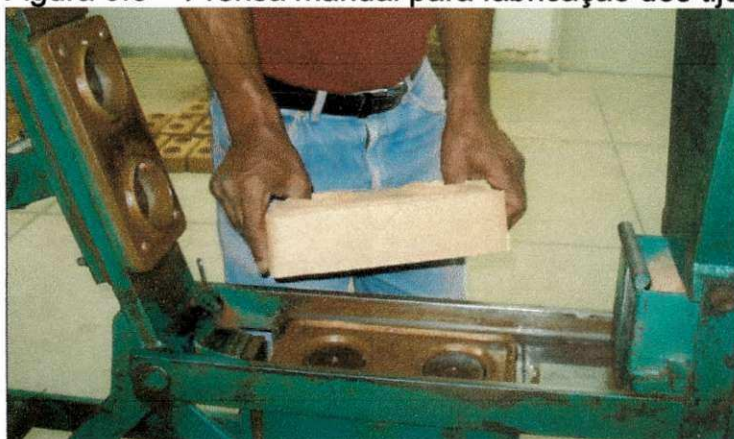
- Confeccões dos Tijolos



Para a confecção dos tijolos foram escolhidos os traços dos corpos de prova de referência (solo-cal) e incorporados com resíduo que obtiveram os melhores resultados de resistência à compressão simples.

Para a moldagem dos tijolos foi utilizada uma prensa manual de ferro marca modelar – Sahara com dimensões de 12,5 x 25,0 x 6,25 cm, e capacidade de produção de 500 tijolos/dia (Figura 3.8).

Figura 3.8 – Prensa manual para fabricação dos tijolos



Fonte: Própria

Como se pode observar na Figura 3.8 a prensa utilizada para a confecção dos tijolos é de fácil operação, necessitando apenas de dois operários não especializados. Após a prensagem, os tijolos foram curados por períodos de 28, 60 e 90 dias, ao ar, e umedecidos com água nos respectivos dias de cura.

A Figura 3.9 apresenta os tijolos confeccionados neste trabalho de pesquisa e prontos para serem submetidos aos ensaios físico-mecânicos.

Figura 3.9 - Tijolos para ensaios físico-mecânicos



Fonte: Própria

A Tabela 3.2 apresenta o quantitativo dos tijolos solo-cal sem resíduo e com 25% de resíduo para serem submetidos aos ensaios de resistência a compressão simples e absorção de água.

Tabela 3.2 - Quantitativo dos tijolos solo-cal e solo-cal-25% de resíduo de demolição

Resíduos	Quantitativos dos Tijolos						Tijolos	Total
	Cura (dias)							
	28		60		90			
	RCS	ABS	RCS	ABS	RCS	ABS		
0 %	6	3	6	3	6	3	27	54
25 %	6	3	6	3	6	3	27	

De acordo com a Tabela 3.2 verifica-se que para as composição com 0% e 25% de resíduo de demolição foram moldados 27 tijolos, totalizando 54, para ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água, separados em grupos de 9 para cada período de cura aos 28, 60 e 90 dias.

Para determinação da resistência à compressão foram moldados 18 tijolos com 0% de resíduo e 18 tijolos com 25% de resíduo de demolição, ou seja, 06 tijolos para cada composição e idade de cura, perfazendo um total de 36 tijolos.

Para determinação da absorção de água foram moldados 9 tijolos com 0% de resíduo e 9 tijolos com 25% de resíduo de demolição, ou seja, 3 tijolos para cada composição e idade de cura, perfazendo um total de 18 tijolos.

- Compactação

O ensaio de compactação solo-cal foi realizado de acordo com a norma da ABNT NBR 12023 (1992): "Solo-cimento – Ensaio de compactação". Optou-se pelo uso desta norma por não existir um método específico para o ensaio de compactação do solo-cal.

A mistura solo-cal foi compactada com o teor de cal determinado pela granulometria, seguindo o método A (100% passando em  $\neq$  4,8 mm) descrito na norma geral de dosagem de solo-cimento da Portland Cement Association. O objetivo deste ensaio foi determinar o fator água-aglomerante para moldagem dos corpos de prova.

- Resistência à compressão simples

Para corpos de prova cilíndricos (Figura 3.10a) a resistência à compressão simples foi determinada conforme as metodologias propostas pela norma da ABNT NBR 12024 (1992) (Figura 3.10b).

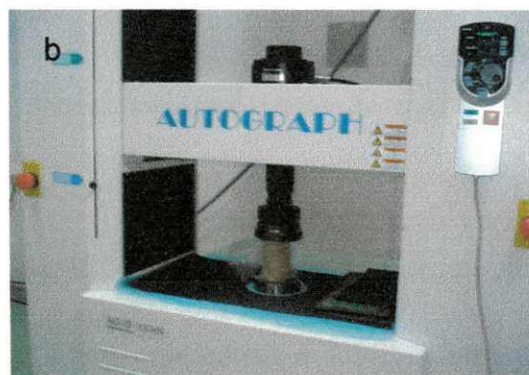
A resistência à compressão simples dos tijolos prensados foi determinada de acordo com a norma da ABNT NBR 8492 (1984), que foi adaptada, visto que esta norma se refere a tijolos maciços de solo-cimento.

Os tijolos para serem submetidos ao ensaio de resistência a compressão simples, foram serrados ao meio a fim de favorecer a simetria necessária ao ensaio, em seguida as faces capeadas com uma camada fina de cimento e água para obter superfícies planas, as duas metades dos tijolos foram sobrepostas (Figura 3.11a) e colocadas na prensa de modo que o seu centro de gravidade estivesse no eixo de carga da prensa (Shimadzu 100KN ASG) (Figura 3.11b) a velocidade do ensaio foi de 0,5 Kgf/s. As Figuras 3.10 e 3.11 apresentam os corpos de prova cilíndricos e os tijolos sendo submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples.

Figura 3.10 – Corpos de prova cilíndricos (a) sendo submetidos ao ensaio de resistência a compressão simples na Máquina Universal SHIMASZU AG-IS com célula de 100 KN (b)



Fonte: Própria



Fonte: Própria

Figura 3.11 – Tijolos (a) sendo submetidos ao ensaio de resistência a compressão simples na Máquina Universal SHIMASZU AG-IS com célula de 100 KN(b)



Fonte: Própria



Fonte: Própria

- Absorção de água

A determinação da absorção de água foi realizada conforme a metodologia recomendada pela norma ABNT NBR 8492 (1984). Os corpos de prova cilíndricos e os tijolos foram colocados por 24h em estufa a 110°C e pesadas ( $M_1$ ) em balança digital de precisão de 0,1g com capacidade para 2.000 g, para a determinação de sua massa seca.

Para a determinação massa saturada os corpos de prova cilíndricos e os tijolos foram submersos em água por um período de 24 horas, após este período foram retirados do tanque, enxutos e pesados ( $M_2$ ). A diferença percentual entre a massa saturada e a massa seca corresponde ao valor de sua capacidade total de absorção de água, calculada em base seca.

Os valores individuais de absorção de água ( $A$ ), expressos em porcentagem (%), foram obtidos pela equação (1), enquanto que a absorção média foi determinada pela média aritmética de três repetições.

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$M_1$ = massa do corpo de prova seco em estufa (g)

$M_2$ = massa do corpo de prova saturado (g)

$A$ = absorção de água (%)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA-MINERALÓGICA

A Tabela 4.1 apresenta os percentuais dos materiais que compõem o resíduo de demolição utilizado neste trabalho de pesquisa.

Tabela 4.1 - Percentuais de materiais que compõem o resíduo de demolição

Componente	% em massa
Material cerâmico	32,64
Argamassa	36,34
Concreto	25,38
Revestimento	5,64

De acordo com a Tabela 4.1 os resultados apontam maior incidência na amostra, materiais cerâmicos de 36,34% e 32,64% de argamassas. Este resultado pode estar relacionado à tipologia construtiva mais utilizada no Brasil, que é de alvenaria cerâmica com revestimento argamassado.

- Atividade pozolânica

A Tabela 4.2 apresenta os valores obtidos para as características físicas e químicas do resíduo de demolição.

Tabela 4.2. Especificações do resíduo de demolição

Determinações	IS 1344 (1968)	ASTM C 618 (2006)	NBR 12653 (2006)	Resíduo (%)
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -min	70%	70%	70%	79,92
SiO <sub>2</sub> -min	40%	NL	NL	52,45
Diâmetro médio (µm)	NL	NL	NL	34,33
Partículas >45 µm -máx.	12%	34%	34%	32,00
Perda ao fogo -máx.	5%	10%	10%	8,3

NL: parâmetro não legislado pela norma de referência

Analisando os valores contidos na Tabela 4.2, observa-se que a soma dos teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> superior a 70%, e comparando com as especificações

das normas IS 1344, ASTM C 618 (2006) e ABNT NBR 12653 (2006), verifica-se que as características físicas e químicas do resíduo de demolição estão de acordo com os valores especificados.

- Massa específica real e superfície específica

A Tabela 4.3 apresenta os resultados da massa específica real e área específica das matérias primas utilizada neste trabalho de pesquisa.

Tabela 4.3 - Massa específica real e área específica das matérias primas

Amostras	Massa Específica Real (g/cm <sup>3</sup> )	Área Específica (m <sup>2</sup> /g)
Solo	2,60	1,67
Cal Carbomil	2,26	1,40
Resíduo	2,56	0,40

De acordo com os resultados da Tabela 4.3, verifica-se que os valores de massa específica real foram de 2,60 g/cm<sup>3</sup> para o solo, de 2,26 g/cm<sup>3</sup> para cal e de 2,56 g/cm<sup>3</sup> para o resíduo de demolição e, estando este valor de acordo com a norma da ABNT NBR 6474(1984), onde a densidade real dos grãos varia de 2,60 g/cm<sup>3</sup> a 2,80 g/cm<sup>3</sup>.

Para área específica observa-se que as amostras apresentaram valores de 1,67 m<sup>2</sup>/g, 1,40 m<sup>2</sup>/g 0,40 m<sup>2</sup>/g para o solo, cal carbomil e o resíduos de demolição respectivamente, constatando que a maior finura é verificada para o solo em relação aos outros materiais.

A superfície específica do resíduo de demolição apresentou valor de 0,40 m<sup>2</sup>/g, estando este valor de acordo com os resultados dos resíduos estudados por Farias (2007), que variaram de 0,34 m<sup>2</sup>/g a 0,48 m<sup>2</sup>/g.

Estes resultados comprovam que esta propriedade física influencia diretamente na superfície de contato e poderá permitir um aumento na atividade pozolânica e, conseqüentemente, no comportamento mecânico das amostras. Este comportamento foi observado por Farias (2007).

- Granulometria do solo

A Tabela 4.4 apresenta os resultados da distribuição granulométrica e índices físicos do solo utilizado neste trabalho de pesquisa.

Tabela 4.4 - Distribuição granulométrica e índices físicos do solo

Ensaio		Amostra de Solo
		Resumo da Granulometria
Granulometria (%)	Pedregulho (acima de 2,0mm)	6,43
	Areia grossa (2,0 - 0,42mm)	27,49
	Areia fina (0,42 - 0,074mm)	30,77
	Silte+argila	35,31
Índices físicos (%)	LL (limite de liquidez)	<b>33,0</b>
	LP (limite de plasticidade)	<b>22,0</b>
	IP (índice de plasticidade)	<b>11,0</b>
Densidade real do solo (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2,65</b>

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4.4, quanto à distribuição de tamanho de partículas, observa-se que o solo apresentou 6,43% de pedregulho, 27,49% de areia grossa, 30,77 % de areia fina e 35,31% de silte mais argila e limites de liquidez (LL) de 33,3%, limite de plasticidade (LP) de 22,4% e o índice de plasticidade (IP) de 10,9%. Portanto, o solo se encontra dentro das especificações da norma da ABNT NBR 10832 (1989).

De acordo com os resultados da análise granulométrica e limites de Atterberg o solo teve sua classificação segundo a AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) como A-4: solo siltoso e como SC: areia argilosa e mistura de areia e argila mal graduada, de acordo com a Classificação Unificada dos Solos (*The Unified Soil Classification System – USCS*).

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 estão apresentadas as curvas de distribuição granulométrica acumulada do solo, da cal e do resíduo de demolição utilizados neste trabalho de pesquisa.

Analisando a curva de distribuição de tamanho de partículas da Figura 4.1, observa-se que o solo apresentou comportamento modal com larga faixa de tamanho de partículas, entre 0,2  $\mu\text{m}$  – 110  $\mu\text{m}$ , com diâmetro médio de 29,82  $\mu\text{m}$  com  $D_{10}$  de 3,45  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 26,21  $\mu\text{m}$  e  $D_{90}$  de 61,05  $\mu\text{m}$ .

A massa acumulada equivalente a fração argila do solo (< 2  $\mu\text{m}$ ) foi de 5,55%, a fração silte (2  $\mu\text{m}$  < X < 60  $\mu\text{m}$ ) foi 83,77% e a fração areia (60  $\mu\text{m}$  < X < 2000  $\mu\text{m}$ )

de 10,68%. A fração de massa acumulada abaixo de 2  $\mu\text{m}$  foi 15% correspondente a fração de argila.

Figura 4.1 – Distribuição de tamanho de partículas do solo

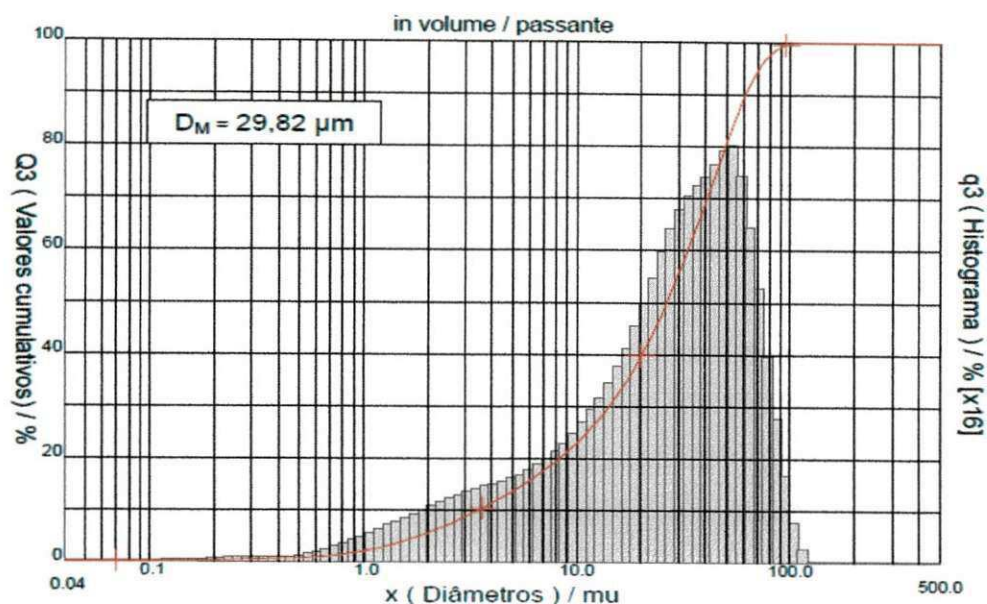
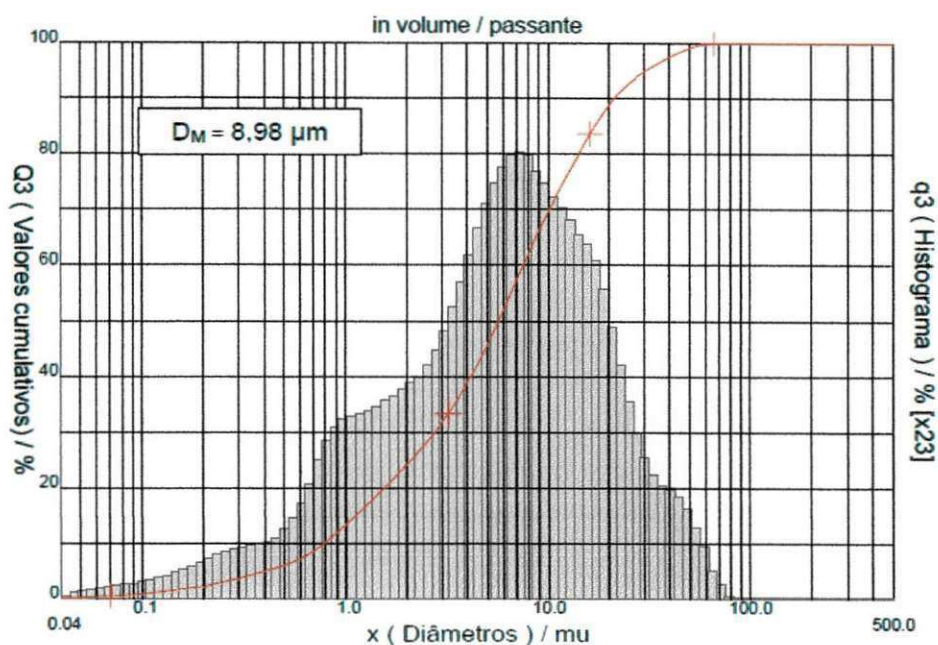


Figura 4.2 – Distribuição de tamanho de partículas da cal Carbomil

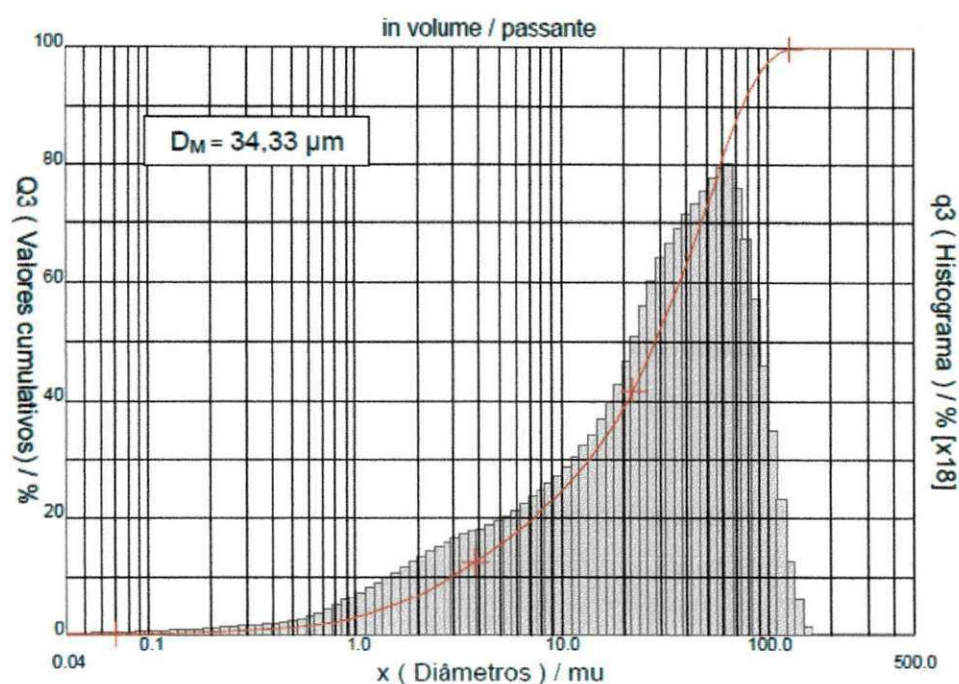


Analisando a curva de distribuição de tamanho de partículas da Figura 4.2, observa-se que a cal apresentou comportamento modal com larga faixa distribuição de tamanho de partículas acumuladas entre 0,04  $\mu\text{m}$  – 90  $\mu\text{m}$ , com diâmetro médio de 8,98  $\mu\text{m}$  com  $D_{10}$  de 0,79  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 5,66  $\mu\text{m}$  e  $D_{90}$  de 21,12  $\mu\text{m}$ .



A cal apresentou massa acumulada equivalente a fração argila ( $< 2 \mu\text{m}$ ) de 24,14%, a fração silte ( $2 \mu\text{m} < X < 60 \mu\text{m}$ ) de 75,66% e a fração areia ( $60 \mu\text{m} < X < 2000 \mu\text{m}$ ) de 0,2%.

Figura 4.3 - Distribuição de tamanho de partículas do resíduo de demolição



Analisando a curva de distribuição de tamanho de partículas da Figura 4.3, verifica-se que o resíduo de demolição apresentou comportamento modal com larga faixa de distribuição de tamanho de partículas acumuladas entre  $0,05 \mu\text{m} - 150 \mu\text{m}$ , com diâmetro médio de  $34,33 \mu\text{m}$  com  $D_{10}$  de  $2,92 \mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de  $28,33 \mu\text{m}$  e  $D_{90}$  de  $74,84 \mu\text{m}$ .

O resíduo de demolição apresentou massa acumulada equivalente a fração argila ( $< 2 \mu\text{m}$ ) de 6,84%, a fração silte ( $2 \mu\text{m} < X < 60 \mu\text{m}$ ) de 74,03% e a fração areia ( $60 \mu\text{m} < X < 2000 \mu\text{m}$ ) de 19,13%. Esses resultados foram semelhantes aos de Farias Filho (2007).

A Tabela 4.5 apresenta os valores da composição química do solo, cal e resíduo de demolição estudado neste trabalho de pesquisa.

Tabela 4.5 - Composição química do solo, cal e resíduo de demolição (RD)

Amostra	Composição Química (%)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Outros Óxidos	Perda ao fogo
Solo	45,8	33,00	5,80	1,80	1,00	0,90	0,50	0,20	11
Cal	0,70	0,40	0,20	0,30	70,70	1,70	-	0,10	26
RD	48,10	19,20	6,00	2,60	11,60	2,20	0,90	1,10	8,3

De acordo com os resultados contidos da Tabela 4.5, observa-se que o solo apresenta elevados teores de sílica (SiO<sub>2</sub> > 45%), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 30%) e ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 5%) correspondendo a 45,80%, 33,00% e 5,80%, respectivamente, totalizando cerca de 85% da composição total. Esses resultados superam o valor mínimo de 70% exigido pela ASTM C618 (2006), indicando assim que o resíduo de demolição estudado tem provavelmente atividade pozolânica.

O percentual de MgO de 0,90% encontra-se abaixo do valor máximo de 5% sugerido pela ASTM C618 (2006). A sílica presente no solo é provavelmente proveniente do argilomineral, feldspato e sílica livre. A alumina é oriunda da fração argilosa e da mica, A presença do óxido de ferro é responsável por conferir cor avermelhada ao solo.

Em relação à perda ao fogo, verifica-se que o solo apresentou valor de 11% devido, provavelmente, a presença de carbonato. Estes resultados confirmam os valores obtidos por Ângulo (2005).

Para a amostra de cal os resultados obtidos na Tabela 4.5, observa-se um elevado teor de óxido de cálcio (CaO) de 71% e baixo teor de óxido de magnésio (MgO) de 1,70%. Quanto aos demais componentes representam 1,7% na composição da cal, equivalente às impurezas e os demais óxidos valores inferiores a 1%. De acordo com essa composição, a cal utilizada classifica-se como cal calcítica, por apresentar teores de óxido de cálcio superiores a 65% e teores de magnésio inferiores a 3,0%, segundo a Norma da ABNT NBR 7181(1984).

Quanto à perda ao fogo, verifica-se que a cal apresentou valor de 26%. Este resultado confirma o valor obtido por Farias (2007).

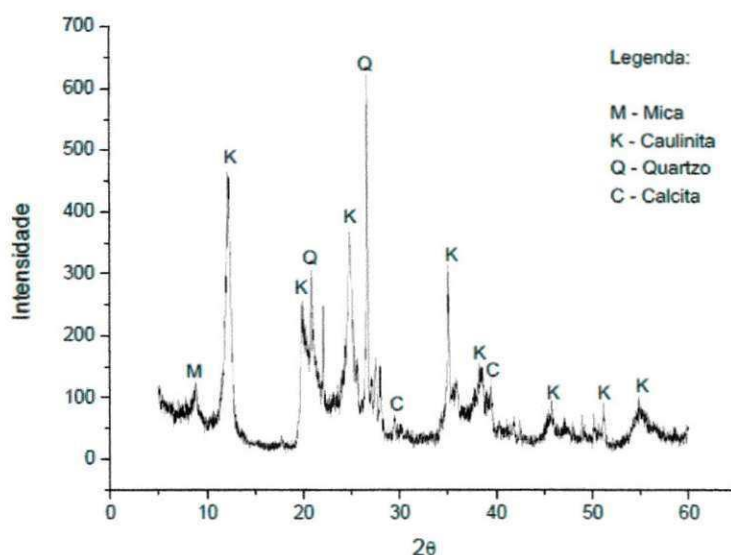
Observando os resultados apresentados na Tabela 4.5 para a composição química do resíduo de demolição (RD), verifica-se que este apresenta elevado teor de sílica (SiO<sub>2</sub> >48%), óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 19%), e óxido de ferro (Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub> = 6%), correspondendo a 48,10%, 19,20% e 6,00%, respectivamente, totalizando cerca de 74% da composição total. Esses resultados superam o valor mínimo de 70% exigido pela ASTM C 618 (2005) indicando assim que o resíduo de demolição

estudado tem provavelmente atividade pozolânica. O percentual de MgO (2,20%) está abaixo do valor máximo de 5% sugerido pela ASTM C618 (2006).

Quanto à perda ao fogo, verifica-se que o resíduo de demolição apresentou valor de 8%, devido, provavelmente, a presença de carbonato. Este resultado confirma o valor obtido por Farias (2007).

As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam respectivamente os difratogramas do solo, da cal e do resíduo de demolição utilizados neste trabalho de pesquisa.

Figura 4.4 – Difração de raios-X do solo



Observando o difratograma (Figura 4.4), verifica-se que o solo apresentou as seguintes fases mineralógicas: caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21 Å e 3,19 Å; quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03 Å e 2,13 Å e menor quantidade de mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada por 10,04 Å. Esses resultados estão de acordo com a composição química da Tabela 4.5.

Analisando o difratograma (Figura 4.5), verifica-se que a cal carbomil apresentou as seguintes fases mineralógicas: portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 2,62Å, 5,60Å e 3,23Å e calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03Å e 2,13Å. Esses resultados estão de acordo com a composição química apresentada na Tabela 4.5.

Observando o difratograma do resíduo de demolição (Figura 4.6), verifica-se que o resíduo apresentou as seguintes fases mineralógicas: albita ( $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$ ), caracterizada pela distância interplanar de 3,24Å; caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21Å e 3,19Å; quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,33Å e menor quantidade de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03Å e 2,13Å e mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada por 10,04 Å.

Figura 4.5 – Difração de raios-X da cal

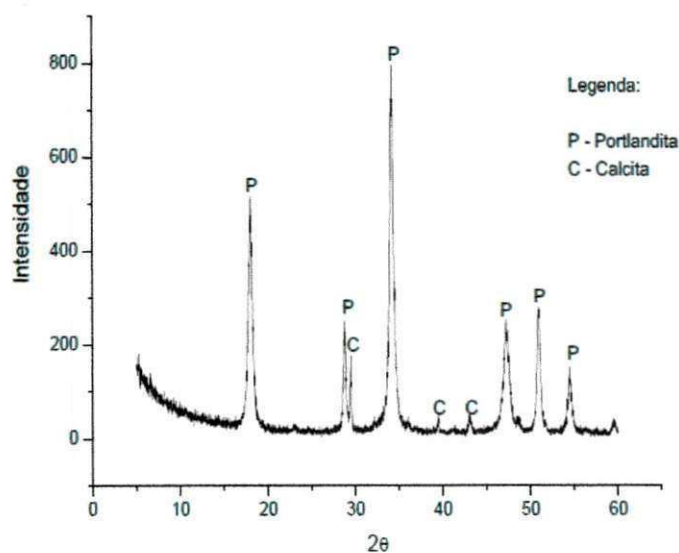
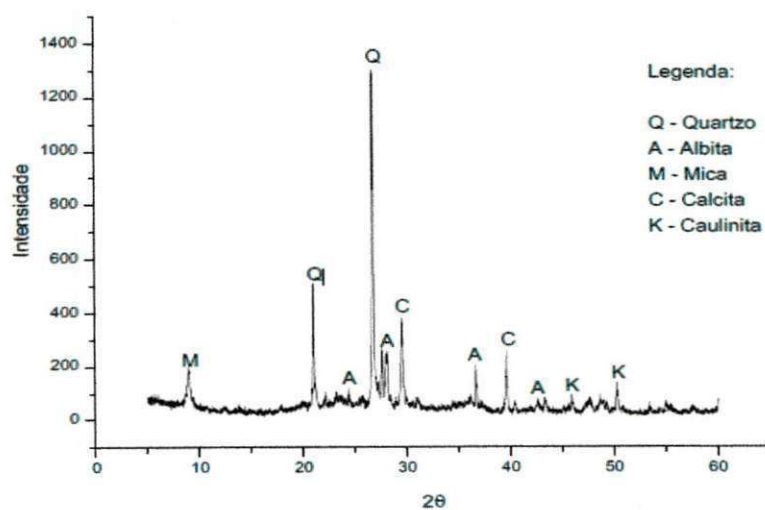
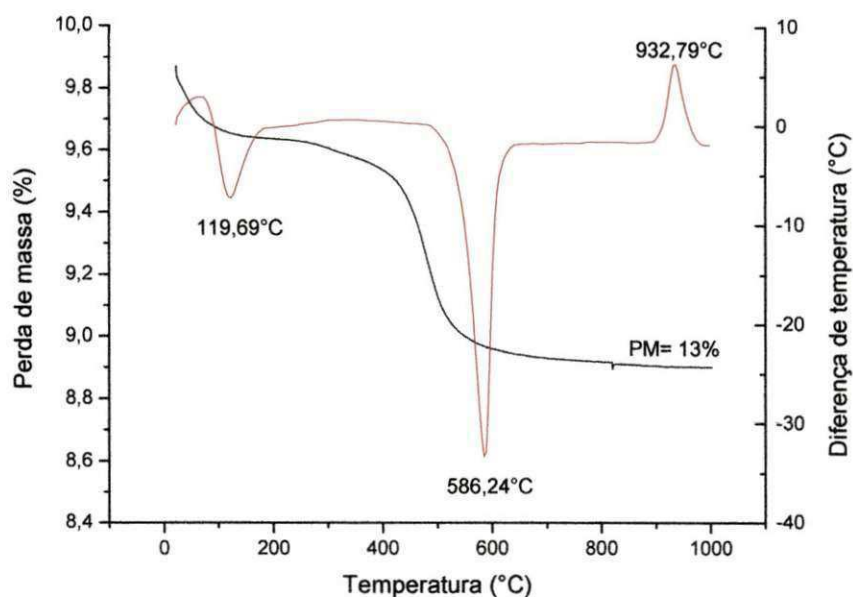


Figura 4.6 - Difração de raios-X do resíduo de demolição



Nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 estão apresentadas as curvas das análises termo diferenciais e termogravimétricas do solo, da cal e do resíduo de demolição utilizados neste trabalho de pesquisa.

Figura 4.7 – Curva das análises de ATD e ATG do solo



Analisando as curvas da Figura 4.7, verifica-se que a amostra de solo apresentou pico endotérmico de pequena intensidade a 119,69 °C caracterizando a presença de água livre e adsorvida, pico endotérmico de grande intensidade a 586,24 °C correspondente a presença de hidroxila ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), transformando em metacaulinita, a partir de 620°C até 900°C, e pico exotérmico de pequena intensidade a 932,79 °C provavelmente relacionado à nucleação de mulita. Para análise termogravimétrica tem-se uma perda de massa total de 13% correspondendo a perda de água livre e adsorvida e a perda de massa da caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ).

Analisando as curvas da Figura 4.8, verifica-se que a análise térmica diferencial da cal apresentou pico endotérmico de grande intensidade a 569,89 °C correspondente a presença do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) e de pequena intensidade a 838,31 °C correspondente a presença do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), calcita). Na curva da análise termogravimétrica observa-se que houve

perda de massa total de 28,0% correspondendo as perdas de massa do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) e da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

Figura 4.8 – Curva das análises de ATD e ATG da cal

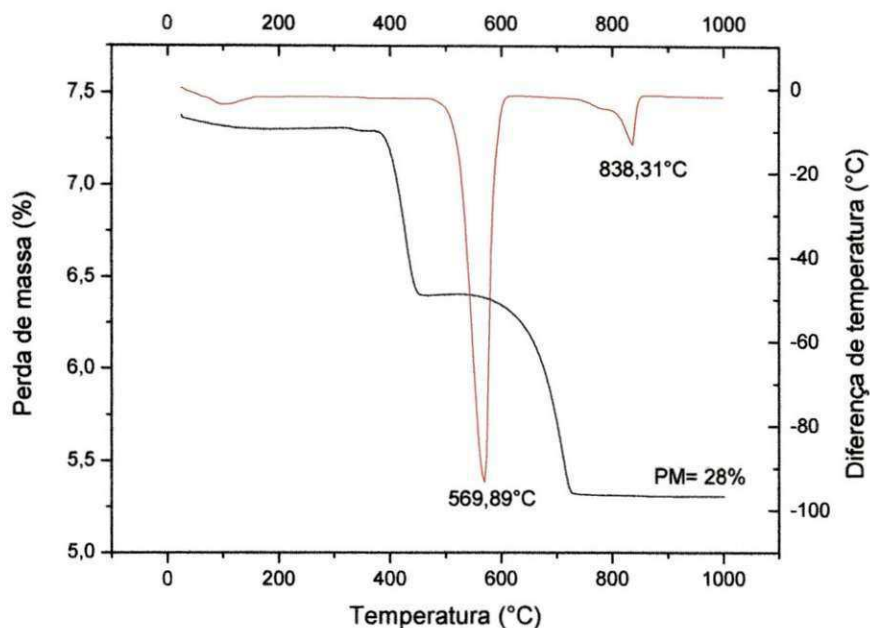
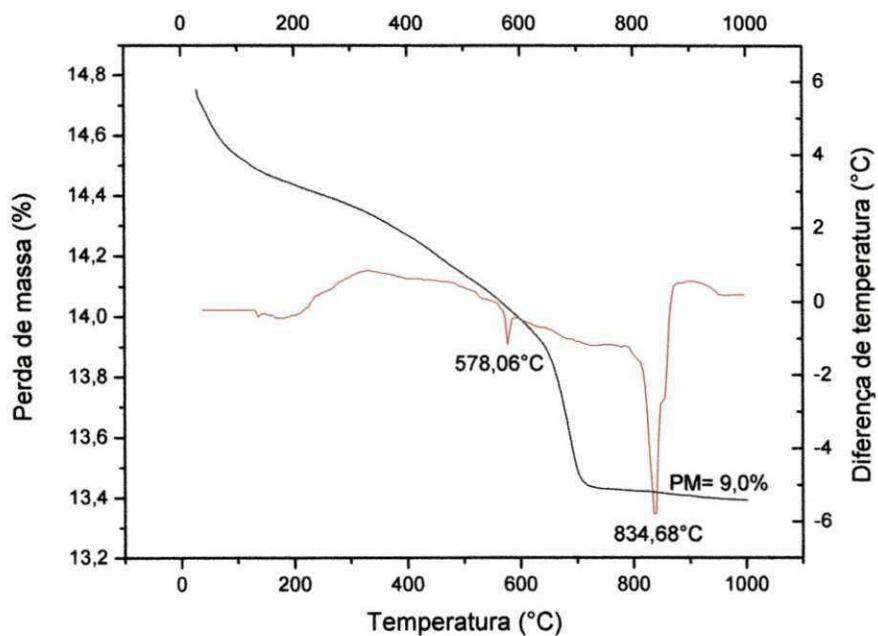


Figura 4.9 – Curva das análises de ATD e ATG do resíduo de demolição



Analisando as curvas da Figura 4.9 verifica-se que a amostra do resíduo de demolição apresentou pico endotérmico de pequena intensidade a 578,06 °C correspondente a presença de hidroxila da caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) e de grande

intensidade a 834,68 °C correspondente a presença de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ , calcita). Para análise termogravimétrica tem-se uma perda de massa de 9% correspondendo as perdas de massa da caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) e calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

## 4.2 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

- Atividade Pozolânica dos corpos de prova solo-cal-resíduo

A Tabela 4.6 apresenta os valores de resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal-resíduo para o estudo da atividade pozolânica.

Tabela 4.6 - Atividade pozolânica dos corpos de provas solo-cal incorporados com resíduo de demolição

Incorporação de resíduo (%)	ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA (MPa)		
	Cura (dias)		
	28	60	90
10	0,06	0,02	0,04
20	0,17	0,04	0,09
25	0,71	1,45	1,53
30	0,62	*	*
40	0,57	*	*
50	0,47	*	*
75	*	*	*

\* valores inferiores aos corpos de prova solo-cal

Analisando os resultados da Tabela 4.6 verifica-se que os corpos de prova com incorporação de 25% de resíduo de demolição apresentam maiores graus de pozolanicidade para todos os períodos de cura. Os corpos de prova incorporados com 10% até 50% de resíduo de demolição e com 10% até 25% aos 60 e 90 dias de cura demonstraram baixa atividade pozolânica.

Não foi constatado índice de atividade pozolânica para os percentuais de 30%, 40% e 50% e 75% de resíduo de demolição aos 60 e 90 dias de cura. Isto pode ser justificado pelo fato de que o resíduo de demolição em estudo apresentava, na sua composição um elevado percentual de materiais cerâmicos, que não participam das reações originárias dos compostos com poder aglomerante.

### 4.2.1 Composição química dos corpos de prova

A Tabela 4.7, apresenta as composições químicas dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição em diversos percentuais de resíduo.

Tabela 4.7 - Composições químicas dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição

Amostra	Teor de resíduo	Composição química (%)							
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Determinações					Outros
				CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	
	0%	43,90	32,03	12,90	7,24	1,98	1,08	0,65	0,22
	10%	42,39	30,26	13,88	9,37	1,76	1,24	0,94	0,13
	20%	43,30	30,99	12,16	9,40	1,96	1,10	0,95	0,12
Solo-cal	25%	46,58	33,74	8,51	7,19	1,92	1,17	0,61	0,28
	30%	44,26	31,50	10,76	9,35	1,97	1,06	0,92	0,32
	40%	44,96	31,64	9,87	9,35	1,94	1,05	0,85	0,17
	50%	47,71	34,79	6,52	7,10	1,92	1,04	0,64	0,28
	75%	49,22	35,35	3,74	7,34	2,16	1,26	0,65	0,27

Analisando os resultados contidos da Tabela 4.7, observa-se que os corpos de prova de solo-cal sem resíduo de demolição, apresentam elevados teores de sílica (SiO<sub>2</sub> > 40%), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 30%), óxido de cálcio (CaO > 12%) e ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 7%) correspondendo a 43,90%, 32,03%, 12,90% e 7,24%, respectivamente.

Os corpos de prova de solo-cal incorporados com diversos percentuais de resíduo de demolição, apresentam teores de sílica (SiO<sub>2</sub>) de 42,39%, de alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de 30,26%, óxido de cálcio (CaO) de 13,88% e 9,37% de ferro com 10% de resíduo e 49,22% de sílica, 35,35% de alumina, óxido de cálcio de 3,74% e 7,34% de ferro com 75% de resíduo de demolição.

O teor de sílica (SiO<sub>2</sub>) apresentado nas amostras considerado elevado. Este fato é desejável em materiais ativos e tem papel importante, pois ao longo do tempo tem-se reações que formam os silicatos hidratados, que são responsáveis pela resistência mecânica desenvolvida.

A sílica presente nos corpos de prova são provavelmente provenientes do feldspato e sílica livre. A alumina é oriunda da fração argilosa e da mica. A presença do óxido de ferro é responsável por conferir cor avermelhada ao solo.

Os percentuais de 1,76% e 13,88% com 10% de resíduo de demolição e 2,16% e 3,74% com 75% de resíduo de demolição de K<sub>2</sub>O e CaO são provenientes da mica e do carbonato de cálcio respectivamente.

O óxido de magnésio representou 1,24% com 10% de resíduo de demolição e 1,26% com 75% de resíduo de demolição e os demais óxidos apresentaram valores abaixo de 1%.



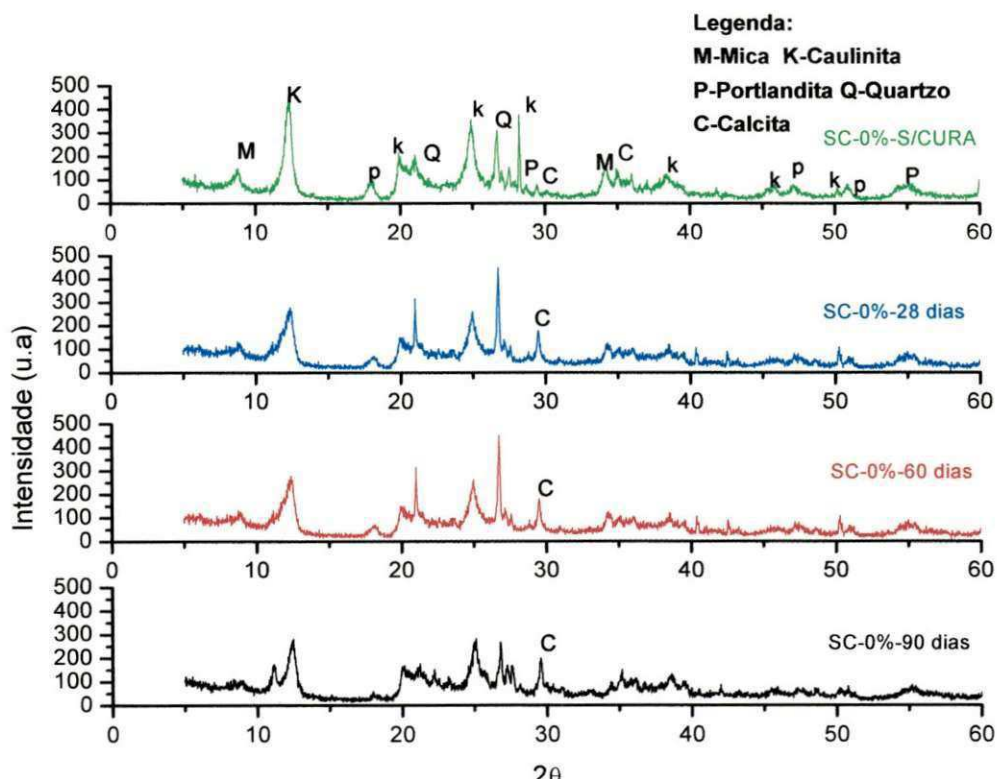
Verifica-se que os resultados da composição química dos corpos de prova de solo-cal e de solo-cal incorporado com resíduo de demolição apresentaram cerca de 90% de óxidos de silício, alumínio e ferro, superando o valor mínimo de 70% exigido pela ASTM C618 (1998) para que um material seja considerado com atividade pozolânica.

O percentual de MgO também satisfaz o valor máximo de 5% exigido, atendendo as especificações químicas exigidas pela ASTM C618 (1998).

#### 4.2.2 Difração de raios-x dos corpos de prova

A Figura 4.10 apresenta os difratogramas dos corpos de prova solo-cal (referência) para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.10 – Difração de raios X dos corpos de prova solo-cal (referência)

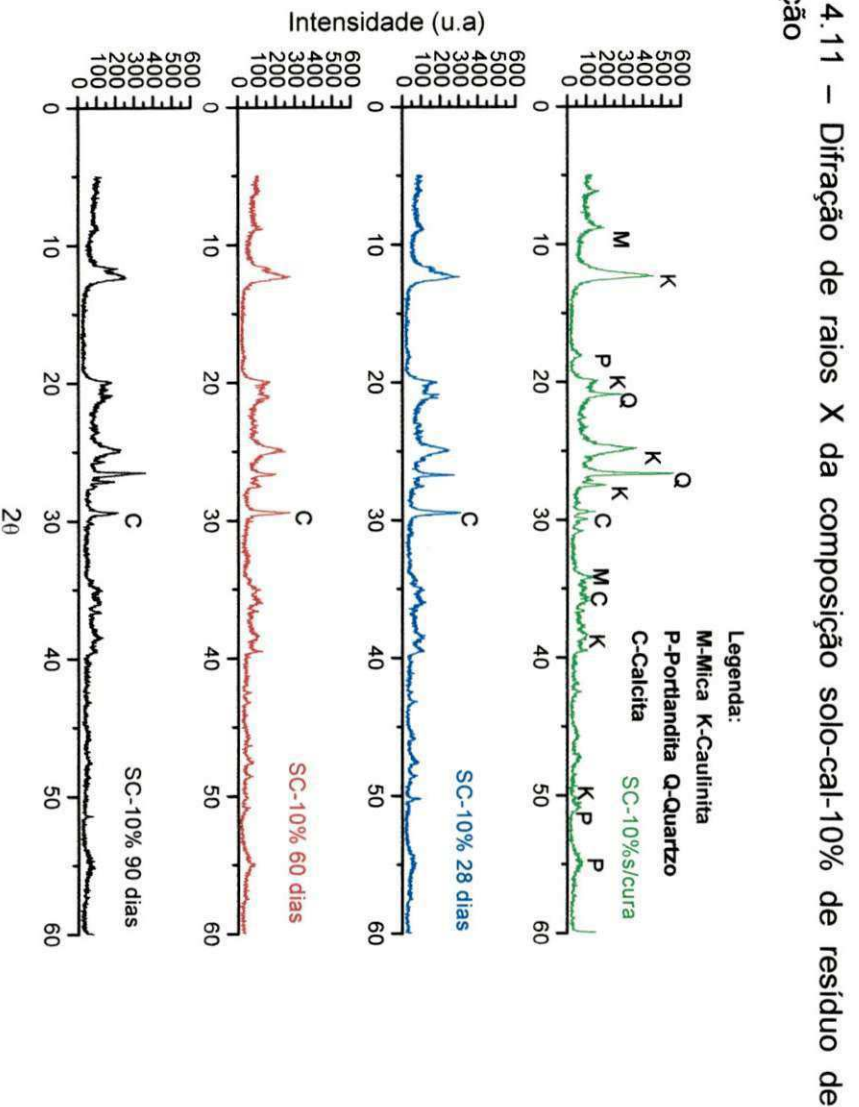


Analisando a Figura 4.10, observa-se a presença das seguintes fases mineralógicas: caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21 Å e 3,19 Å; portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 2,62 Å, 5,60 Å e 3,23 Å; mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada

por 10,04 Å; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03 Å e 2,13 Å e menor quantidade de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

Verifica-se também que com o aumento do período de cura dos corpos de prova, ocorreu um aumento na intensidade dos picos de calcita, e uma diminuição na intensidade dos picos de portlandita, evidenciando a reação pozolânica.

A Figura 4.11 apresenta os difratogramas dos corpos de prova solo-cal com a incorporação de 10% de resíduo de demolição para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

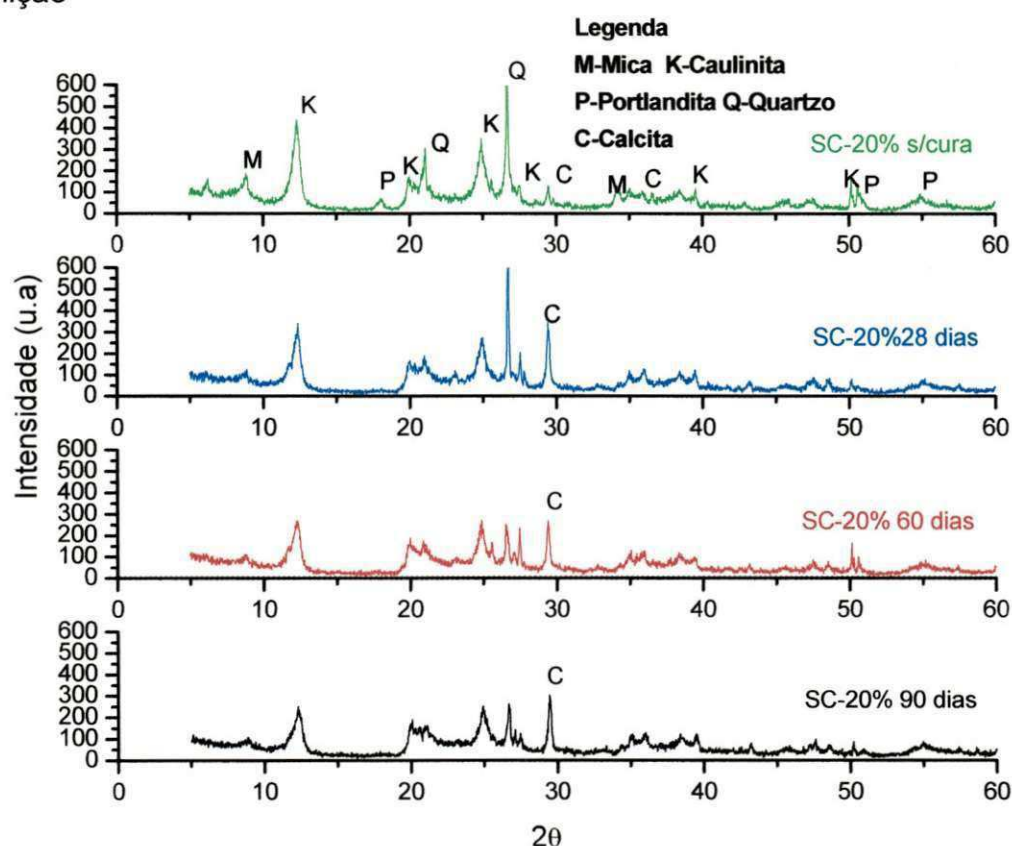


Analisando a Figura 4.11, observa-se a presença das seguintes fases mineralógicas: caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21 Å e 3,19 Å; portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 2,62 Å, 5,60 Å e 3,23 Å; mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada por 10,04 Å; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03 Å e 2,13 Å e menor quantidade de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

Verifica-se também que com o aumento do período de cura dos corpos de prova, houve um aumento na intensidade dos picos de calcita, e uma diminuição na intensidade dos picos de portlandita, evidenciando a reação pozolânica.

A Figura 4.12 apresenta os difratogramas dos corpos de prova solo-cal com a incorporação de 20% de resíduo de demolição para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.12 – Difração de raios X da composição solo-cal-20% de resíduo de demolição

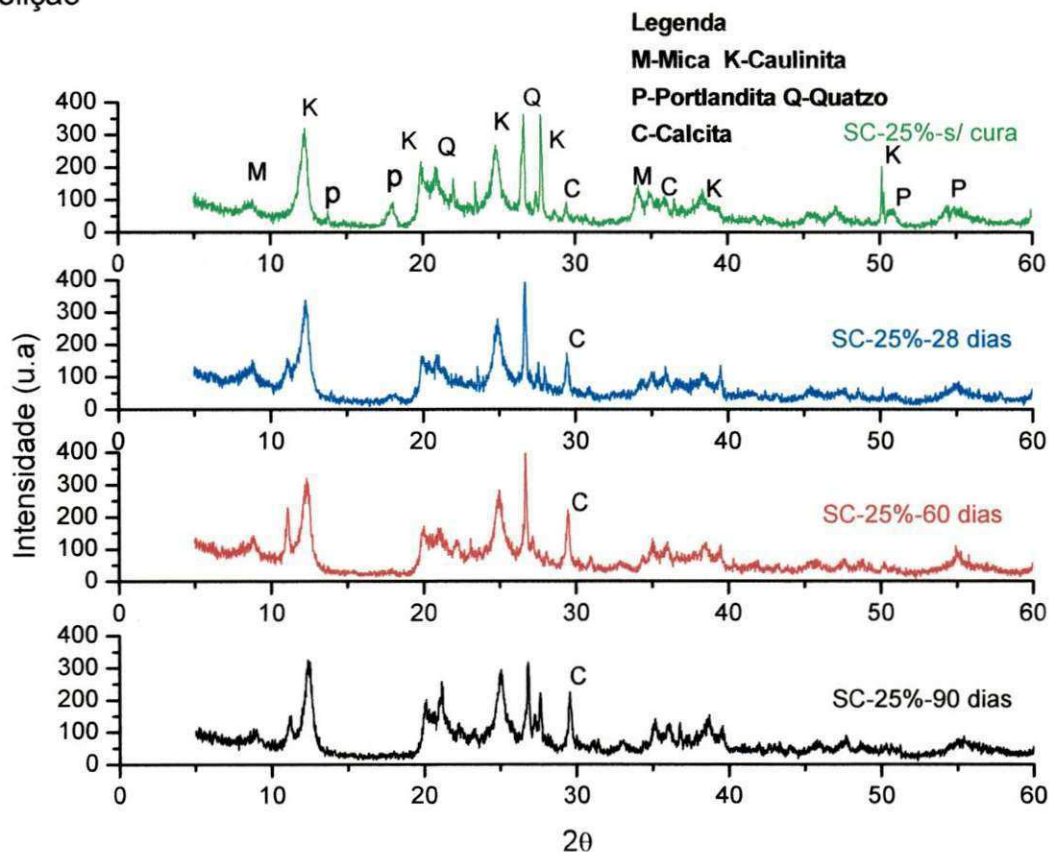


Analisando a Figura 4.12 observa-se a presença das seguintes fases mineralógicas: caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21 Å e 3,19 Å; portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 2,62 Å, 5,60 Å e 3,23 Å; mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada por 10,04 Å; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03 Å e 2,13 Å e menor quantidade de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

Verifica-se também que com o aumento do período de cura dos corpos de prova, houve um aumento na intensidade dos picos de calcita, e uma diminuição na intensidade dos picos de portlandita, evidenciando a reação pozolânica.

A Figura 4.13 apresenta os difratogramas dos corpos de prova solo-cal com a incorporação de 25% de resíduo de demolição para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.13 – Difração de raios X da composição solo-cal-25% de resíduo de demolição

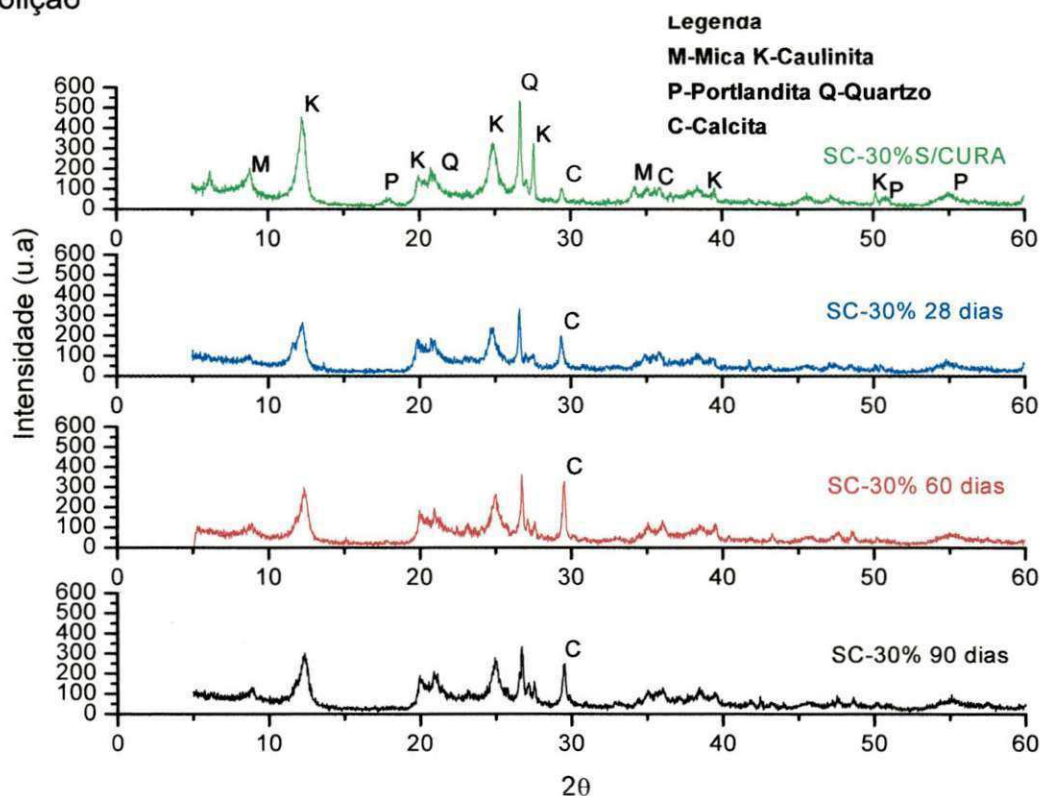


Observa-se na Figura 4.13, a presença das seguintes fases mineralógicas: caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21 Å e 3,19 Å; portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 2,62 Å, 5,60 Å e 3,23 Å; mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada por 10,04 Å; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03 Å e 2,13 Å e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

Verifica-se que com o aumento do período de cura dos corpos de prova, houve um aumento na intensidade dos picos de calcita e uma diminuição da portlandita, evidenciando a reação pozolânica.

A Figura 4.14 apresenta os difratogramas dos corpos de prova solo-cal com a incorporação de 30% de resíduo de demolição para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.14 – Difração de raios X da composição solo-cal-30% de resíduo de demolição



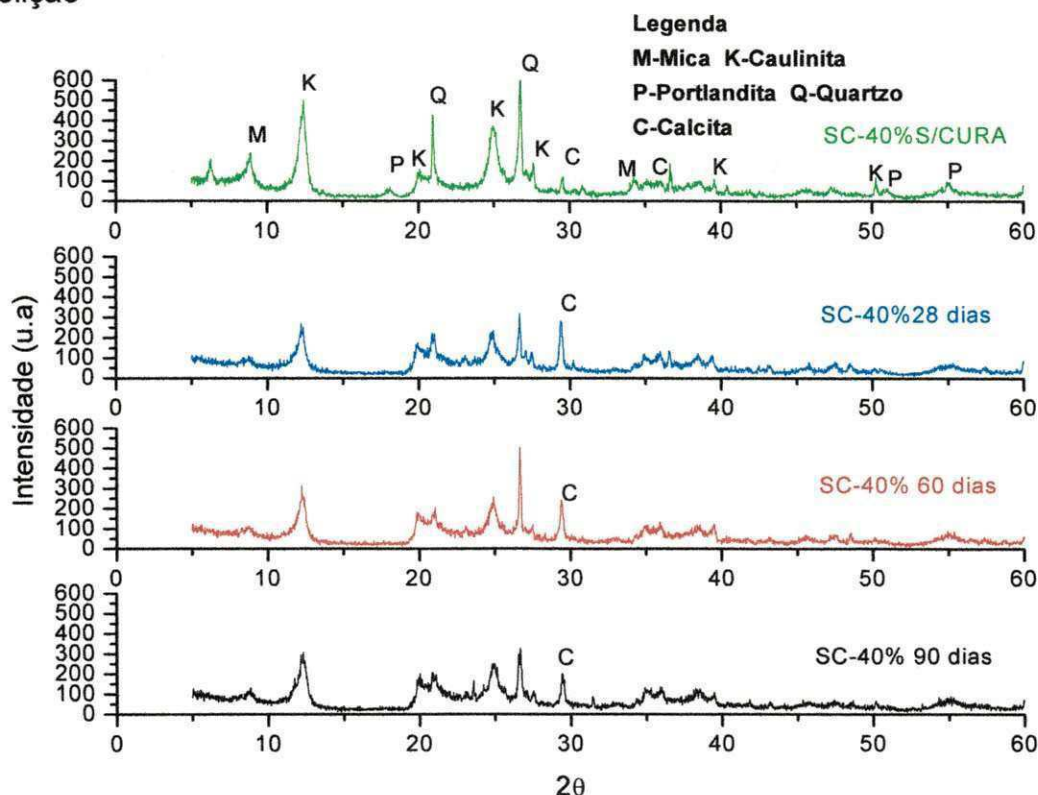
Analisando a Figura 4.14, observa-se a presença das seguintes fases mineralógicas: caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21 Å e 3,19 Å; portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 2,62 Å, 5,60 Å e 3,23 Å; mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada por 10,04 Å; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03 Å e 2,13 Å e menor quantidade de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

Verifica-se também que com o aumento do período de cura dos corpos de prova, houve um aumento na intensidade dos picos de calcita, e uma diminuição na intensidade dos picos de portlandita, evidenciando a reação pozolânica.

A Figura 4.15, apresenta os difratogramas dos corpos de prova de solo-cal com a incorporação de 40% de resíduo de demolição para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

A Figura 4.15, apresenta os difratogramas dos corpos de prova de solo-cal com a incorporação de 40% de resíduo de demolição para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.15 – Difração de raios X da composição solo-cal-40% de resíduo de demolição

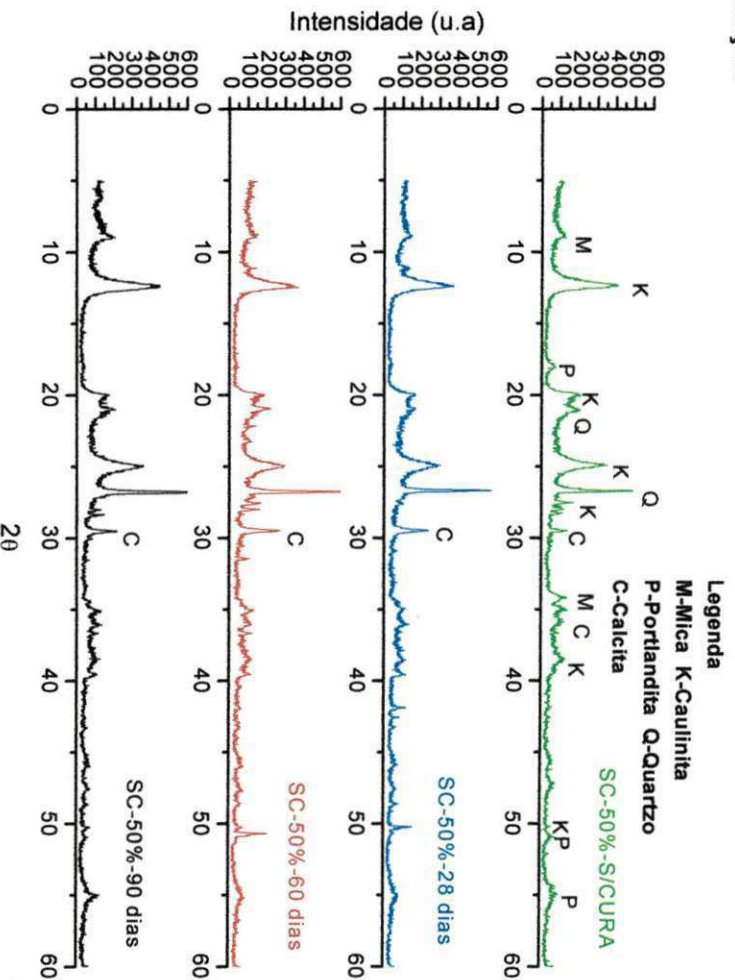


Analisando a Figura 4.15, observa-se a presença das seguintes fases mineralógicas: caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21 Å e 3,19 Å; portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 2,62 Å, 5,60 Å e 3,23 Å; mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada por 10,04 Å; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03 Å e 2,13 Å e menor quantidade de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

Verifica-se também que com o aumento do período de cura dos corpos de prova, houve um aumento na intensidade dos picos de calcita, e uma diminuição na intensidade dos picos de portlandita, evidenciando a reação pozolânica.

A Figura 4.16 apresenta os difratogramas dos corpos de prova solo-cal com a incorporação de 50% de resíduo de demolição para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.16 – Difração de raios X da composição solo-cal-50% de resíduo de demolição



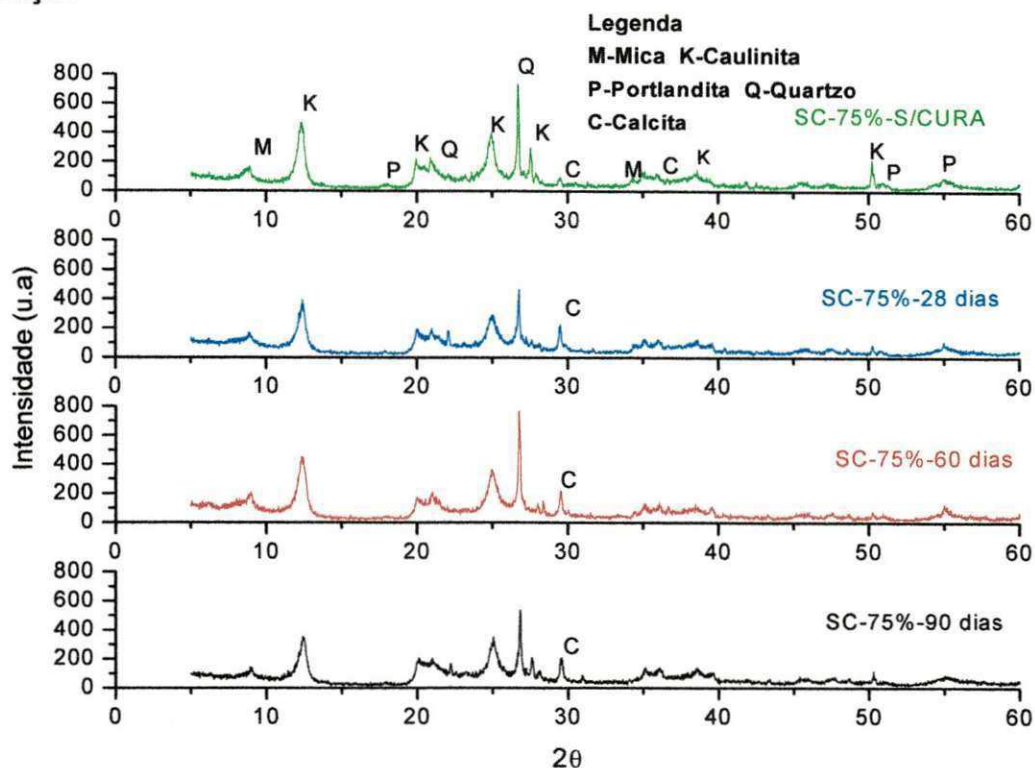
Observa-se na Figura 4.16, a presença das seguintes fases mineralógicas: caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21 Å e 3,19 Å; portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 2,62 Å, 5,60 Å e 3,23 Å; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03 Å e menor quantidade de mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada por 10,04 Å e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

Verifica-se que com o aumento do período de cura dos corpos de prova, houve um pequeno aumento na intensidade dos picos de calcita e uma diminuição da portlandita, evidenciando a reação pozolânica.

A Figura 4.17 apresenta os difratogramas dos corpos de prova solo-cal com a incorporação de 75% de resíduo de demolição para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias.

Observa-se na Figura 4.17, a presença das seguintes fases mineralógicas: mica ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) caracterizada pela distância interplanar de 10,04 Å; caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,21 Å e 3,19 Å; portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caracterizada pelas distâncias interplanares de 2,62 Å, 5,60 Å e 3,23 Å; calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) caracterizada por 3,03 Å e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

Figura 4.17 – Difração de raios X da composição solo-cal-75% de resíduo de demolição



Verifica-se que com o aumento do período de cura dos corpos de prova, houve um aumento na intensidade dos picos de calcita e uma diminuição da portlandita, evidenciando a reação pozolânica.

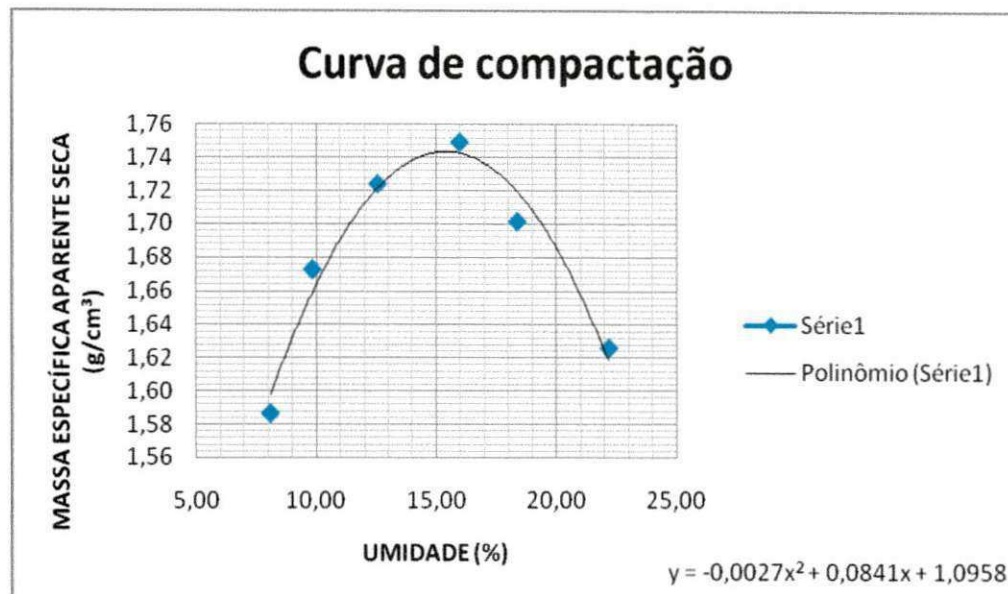
- Compactação da mistura solo-cal

A Figura 4.18 apresenta os resultados da curva de compactação da mistura solo-cal (traço 1:10).

Analisando a curva da Figura 4.18, verifica-se que a amostra de solo-cal no traço (1:10) apresentou teor de umidade ótima igual a 16,0% sendo esse valor utilizado para a moldagem dos corpos de prova e tijolos de solo-cal. A massa específica seca máxima foi de  $1,74\text{g/cm}^3$ , este valor é apropriado para uso em tijolos de solo-cal (SOUZA, 2006).



Figura 4.18 – Curva de compactação da mistura solo-cal



#### 4.2.3 Resistência à compressão simples (RCS) dos corpos de prova

A Tabela 4.8 apresenta resultados da resistência à compressão simples dos corpos de prova sem resíduo de demolição (referência) e incorporados com resíduo de demolição.

Tabela 4.8 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição

Amostra	Incorporação de resíduo (%)	Resistência à Compressão Simples (MPa)		
		28 dias	60 dias	90 dias
Referência	0	1,53	2,54	3,44
	10	1,59	2,56	3,48
	20	1,70	2,58	3,53
	25	2,24	3,99	4,97
Solo-cal	30	2,15	2,53	2,75
	40	2,10	2,30	2,36
	50	2,00	2,27	2,34
	75	1,00	1,10	1,24

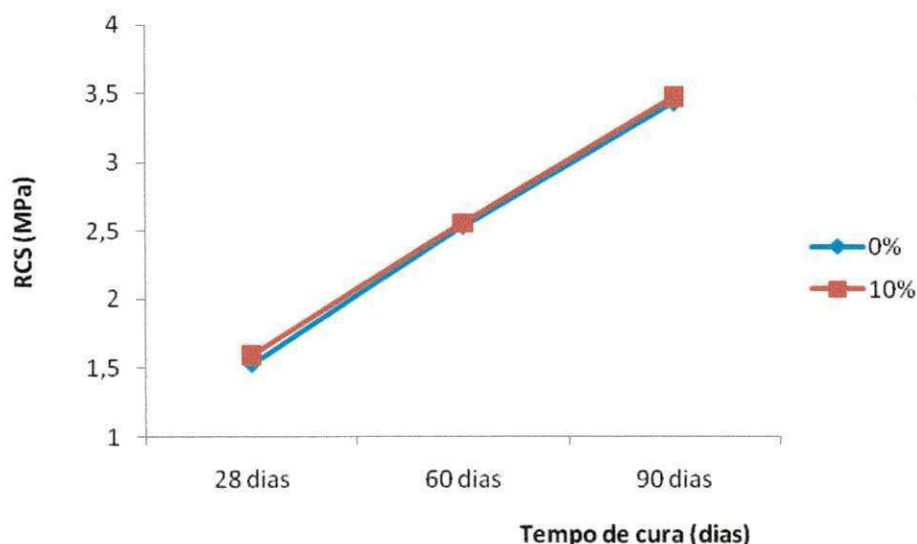
Analisando os valores da Tabela 4.8 verifica-se que a resistência à compressão simples dos corpos de prova incorporados com 20% e 25% de resíduos de demolição, para períodos de cura de 60 e 90 dias foram os que obtiveram melhores resultados. De maneira geral os valores apresentados, identificam que o

comportamento mecânico dos corpos de prova foi aumentando com o período de cura, isto pode ser justificado, pelo consumo da portlandita evidenciando a reação pozolânica.

Comparando os resultados com a Norma da ABNT NBR 8491 (1984), verifica-se que todos os valores para 60 e 90 dias de cura foram superiores as especificações que é de 2,0 MPa, com exceção dos corpos de prova incorporados com 75% de resíduo em todos os períodos de cura, isto pode ser atribuído à baixa atividade pozolânica.

Na Figura 4.19 estão apresentados os valores da resistência à compressão simples obtidos com os corpos de prova incorporados com 10% de resíduo para período de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.19 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-10% de resíduo de demolição

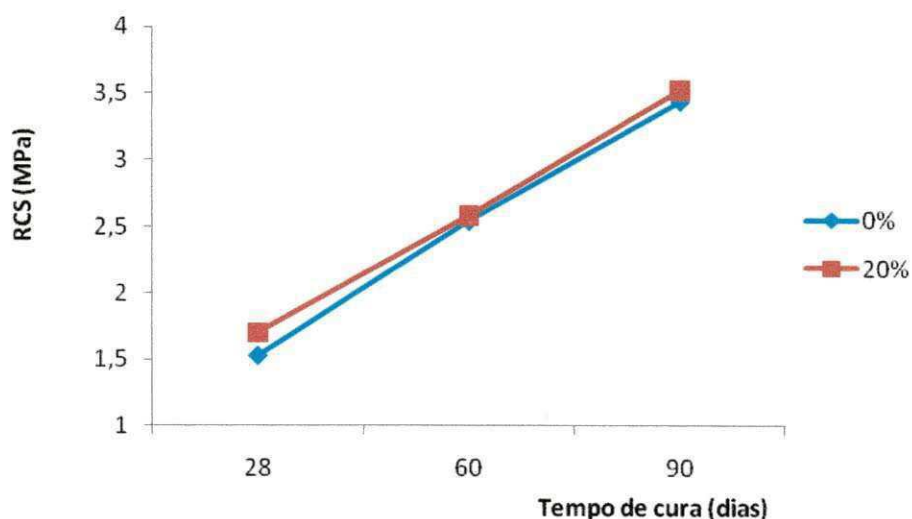


Analisando os resultados da Fig. 4.19, verifica-se que os corpos de prova incorporados com 10% de resíduo de demolição apresentam comportamento mecânico praticamente igual aos corpos de prova de referência (0% de resíduo) em todas as idades avaliadas.

Comparando os resultados dos corpos de prova incorporados com 10% de resíduos com os de referência aos 28 dias e 90 dias, verifica-se um aumento de mais de 54%.

Na Figura 4.20 estão apresentados os valores da resistência à compressão simples obtidos com os corpos de prova incorporados com 20% de resíduo para período de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.20 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-20% de resíduo de demolição



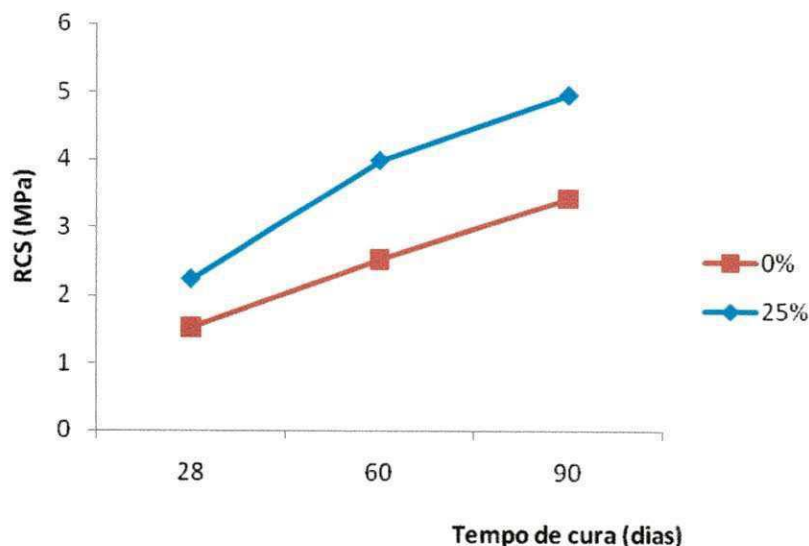
Analisando os dados da Figura 4.20, verifica-se que os corpos de prova incorporados com 20% de resíduo para os períodos de 28 dias, 60 dias e 90 dias de cura, obtiveram um pequeno aumento de resistência à compressão simples em relação aos valores de referência (0% de resíduo).

Comparando os resultados dos corpos de prova incorporados com 20% de resíduos com os de referência aos 28 dias e 90 dias, verifica-se um aumento de mais de 52%.

Na Figura 4.21 estão apresentados os valores da resistência à compressão simples obtidos com os corpos de prova incorporados com 25% de resíduo para período de cura de 28, 60 e 90 dias.

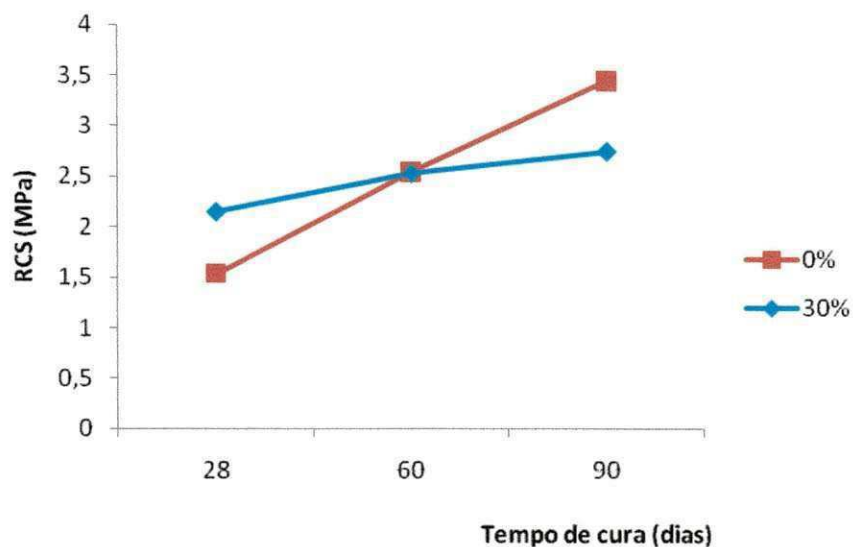
Analisando os resultados da Fig. 4.21, verifica-se que os valores de RCS dos corpos de prova incorporados com 25% de resíduo de demolição são superiores aos de referência (0% de resíduo), sendo o valor máximo de 2,24 MPa, 3,99 MPa e 4,97 MPa, aos 28, 60 e 90 dias de cura respectivamente. Isto vem confirmar que quanto maior o tempo de cura maior a atividade pozolânica.

Figura 4.21 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-25% de resíduo de demolição



Comparando os resultados dos corpos de prova incorporados com 25% de resíduos com os de referência aos 28 dias e 90 dias, verifica-se um aumento de mais de 55%. Na Figura 4.22 estão apresentados os valores da resistência à compressão simples obtidos com os corpos de prova incorporados com 30% de resíduo para período de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.22 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-30% de resíduo de demolição



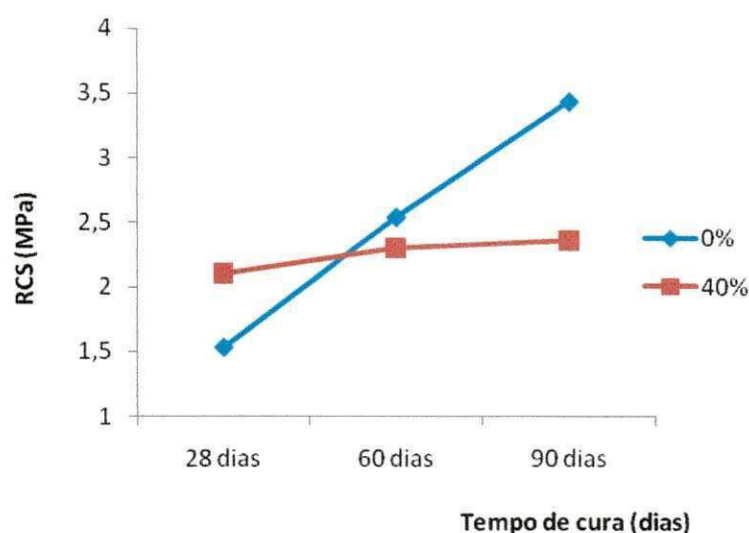
Analisando os resultados da Fig. 4.22, verifica-se que os valores de RCS dos corpos de prova incorporados com 30% de resíduo de demolição são superiores aos

de referência (0% de resíduo) aos 28 dias, sendo que aos 60 e 90 dias de cura apresentaram comportamento inferior.

Comparando os resultados dos corpos de prova incorporados com 30% de resíduos com os de referência aos 28 dias e 90 dias, verifica-se um aumento de mais de 22%.

Na Figura 4.23 estão apresentados os valores da resistência à compressão simples obtidos com os corpos de prova incorporados com 40% de resíduo para período de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.23 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-40% de resíduo de demolição

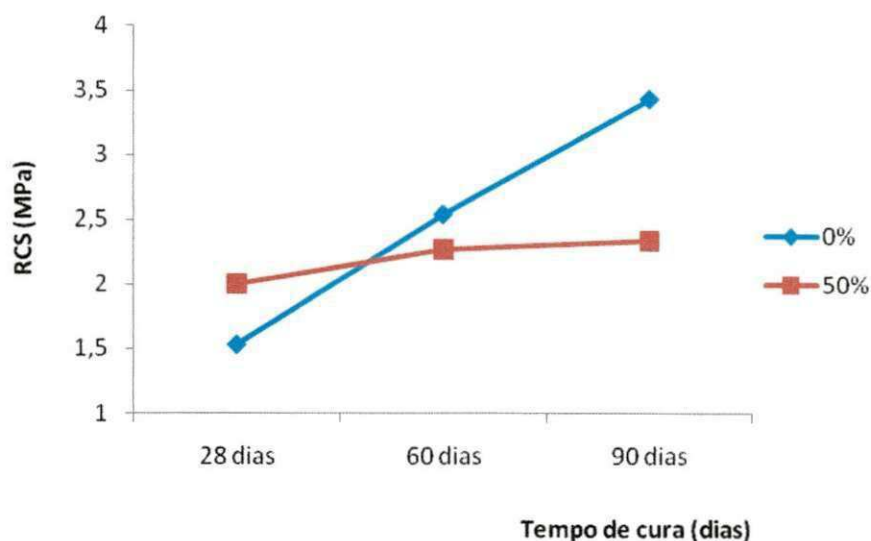


Analisando os resultados da Fig. 4.23, verifica-se que os valores de RCS dos corpos de prova incorporados com 40% de resíduo de demolição são superiores aos de referência (0% de resíduo) aos 28 dias, sendo que aos 60 e 90 dias de cura apresentaram comportamento inferior.

Comparando os resultados dos corpos de prova incorporados com 40% de resíduos com os de referência aos 28 dias e 90 dias, verifica-se um aumento de mais de 11%.

Na Figura 4.24 estão apresentados os valores da resistência à compressão simples obtidos com os corpos de prova incorporados com 50% de resíduo para período de cura de 28, 60 e 90 dias.

Figura 4.24 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-50% de resíduo de demolição



Analisando os resultados da Fig. 4.24, verifica-se que os valores de RCS dos corpos de prova incorporados com 50% de resíduo de demolição são superiores aos de referência (0% de resíduo) aos 28 dias, sendo que aos 60 e 90 dias de cura apresentaram comportamento inferior.

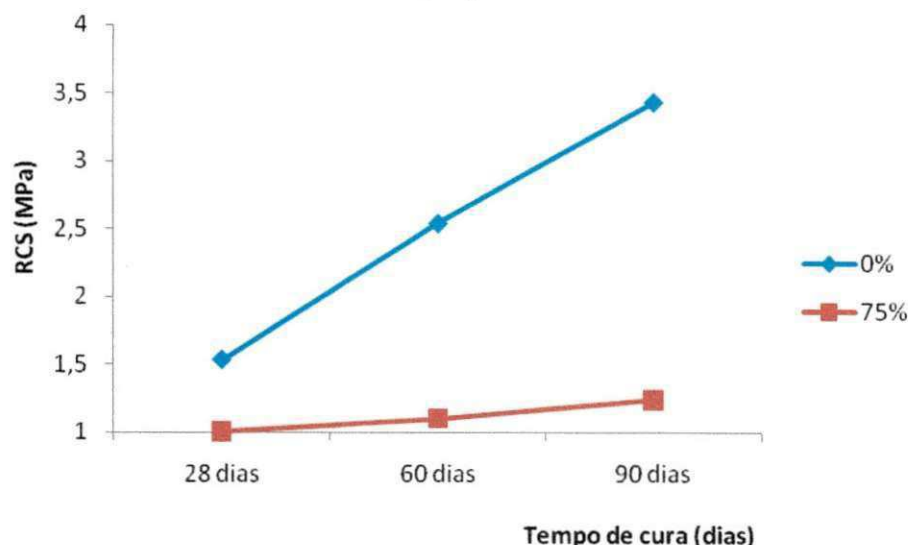
Comparando os resultados dos corpos de prova incorporados com 50% de resíduos com os de referência aos 28 dias e 90 dias, verifica-se um aumento de mais de 14%.

Na Figura 4.25 estão apresentados os valores da resistência à compressão simples obtidos com os corpos de prova incorporados com 75% de resíduo para período de cura de 28, 60 e 90 dias.

Analisando os resultados da Figura 4.25, verifica-se que os valores de RCS dos corpos de prova incorporados com 75% de resíduo de demolição apresentam comportamento inferior aos corpos de prova de referência (0% de resíduo) para todos os períodos de cura. Podendo ser justificado pelo fato de que o resíduo em estudo apresenta, na sua composição uma elevada quantidade de materiais cerâmicos, que não participam das reações originárias dos compostos com poder aglomerante.

Comparando os resultados dos corpos de prova incorporados com 75% de resíduos com os de referência aos 28 dias e 90 dias, verifica-se um aumento de 19%.

Figura 4.25 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-75% de resíduo de demolição



#### 4.2.4 Absorção de água dos corpos de prova

A Tabela 4.9 e a Figura 4.26 apresentam resultados da absorção de água dos corpos de prova sem resíduo de demolição (referencia) e incorporados com resíduo de demolição.

Tabela 4.9 - Absorção de água dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição

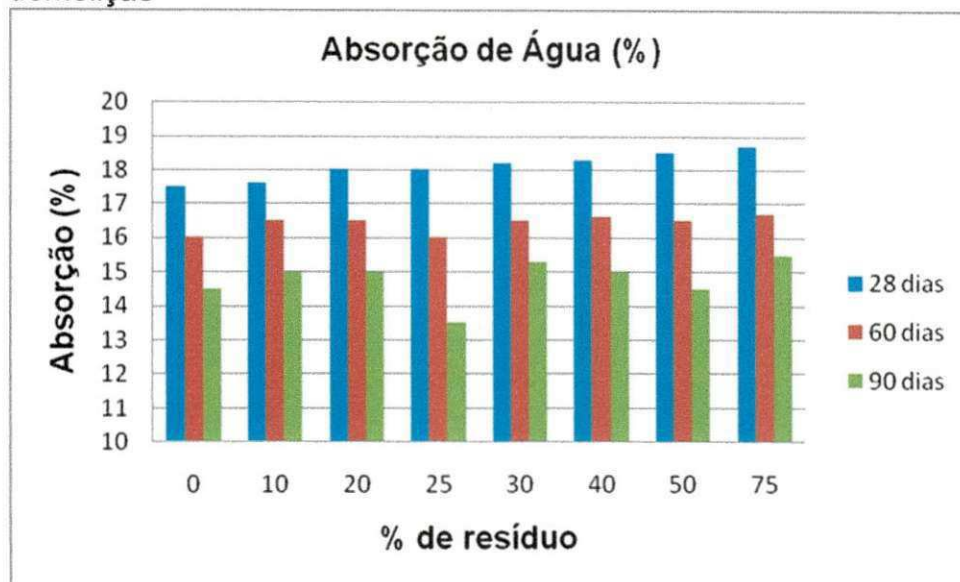
Amostra	Incorporação de resíduo (%)	Absorção (%)		
		28 dias	60 dias	90 dias
Referência	0	17,5	16,0	14,5
	10	17,6	16,5	15,0
	20	18,0	16,5	15,0
	25	18,0	16,0	13,5
Solo-cal	30	18,2	16,5	15,3
	40	18,3	16,6	15,0
	50	18,5	16,5	14,5
	75	18,7	16,7	15,5

Analisando a Tabela 4.9 verifica-se que os valores de absorção de água dos corpos de prova foram decrescendo em relação ao tempo de cura e estão de acordo com o resultado da resistência à compressão simples.

Aos 28 dias, observa-se que os resultados variaram entre 17,5% (0% de resíduo) a 18,7% (75% de resíduo). Aos 60 dias de cura os resultados variaram entre 16,0% (0% e 25% de resíduo) a 16,7% (75% de resíduo). Aos 90 dias observa-se que os resultados variaram entre 13,5% (25% de resíduo) a 15,5% (75% de

resíduo). Os resultados apresentados são inferiores a 20%, valor máximo estabelecido pela ABNT NBR 8491 (1984).

Figura 4.26 - Absorção de água dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição



Analisando os valores da Figura 4.26 verifica-se que para os corpos de prova de solo-cal incorporados com resíduo de demolição os valores de absorção de água se mantiveram abaixo do limite estabelecido pela Norma da ABNT NBR 8491/94 que é de 20%. Verifica-se também que a absorção de água tende a aumentar com a incorporação do resíduo de demolição e a diminuir com o tempo de cura.

#### 4.2.5 Resistência à compressão simples (RCS) dos tijolos

A Tabela 4.10 e a Figura 4.27 apresentam resultados da resistência à compressão simples dos tijolos sem resíduo de demolição (referencia) e incorporados com resíduo de demolição.

Analisando os resultados da Tabela 4.10 verifica-se que os tijolos solo-cal (referência) em relação aos tijolos com 25% de resíduo de demolição foi de 0,10 MPa aos 28 dias de cura, de 0,60 MPa aos 60 dias de cura e de 0,70 aos 90 dias de cura. Esta evolução de resistências ao longo do tempo reafirma os conceitos sobre a continuidade de reações entre solo-cal (propriedades cimentantes).

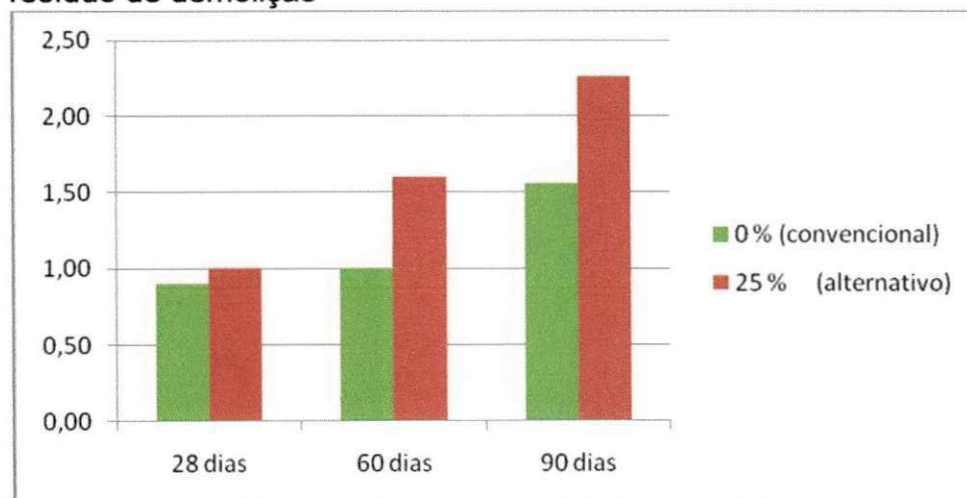


Tabela 4.10 - Resistência à compressão simples dos tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição

Amostra	Incorporação de Resíduos (%)	Resistência à Compressão Simples (MPa)		
		28 dias	60 dias	90 dias
Solo-cal	0	0,91	1,00	1,55
		0,90	1,01	1,57
		0,90	1,01	1,57
		0,91	1,00	1,55
		0,90	1,00	1,56
Média		<b>0,90</b>	<b>1,00</b>	<b>1,56</b>
Solo-cal	25	1,00	1,60	2,29
		1,01	1,60	2,26
		1,01	1,59	2,20
		1,00	1,59	2,30
		1,00	1,61	2,25
Média		<b>1,00</b>	<b>1,60</b>	<b>2,26</b>

A resistência a compressão simples dos tijolos de referência aos 28, 60 e 90 dias de cura e os tijolos com 25% de resíduo de demolição aos 28 e 60 dias de cura não atenderam às prescrições da norma da ABNT NBR 8491(1984), com exceção dos tijolos com 25% de resíduo de demolição aos 90 dias de cura foram superiores ao limite mínimo de 2,0 MPa estabelecido pela norma.

Figura 4.27 - Resistência à compressão simples (RCS) dos tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição



Analisando a Figura 4.27, observa-se que a resistência à compressão simples quando comparados os corpos de prova (máximo de 4,97 MPa) com os tijolos (máximo de 2,26 MPa) aos 90 dias de cura, obteve um aumento de mais de 50%.

Comparando os valores de RCS apresentados nas Tabelas 4.8 e 4.10 foi observado que os valores de RCS encontrados para os tijolos de solo-cal foram bastante inferiores aos mesmos valores encontrados para os corpos de prova. Isso

ocorre devido à geometria do tijolo que favorece a concentração de tensão nas bordas do tijolo, onde a área perpendicular a força é cerca de 70% menor que a área líquida do tijolo.

#### 4.2.6 Absorção de água dos tijolos

A Tabela 4.11 e a Figura 4.28 apresentam os valores obtidos para a absorção de água dos tijolos sem resíduo de demolição (referência) e incorporados com resíduo de demolição.

Tabela 4.11 - Absorção de água dos tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição

Incorporação de resíduo (%)	Cura (dias)		
	28	60	90
0	21,0	20,0	19,0
25	21,0	19,5	18,0

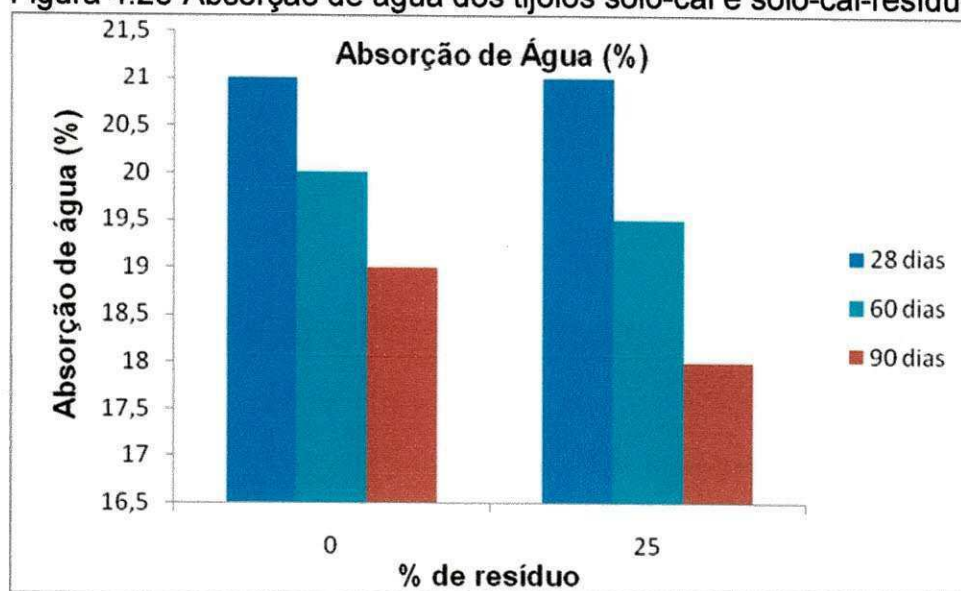
De acordo com os resultados de absorção de água da Tabela 4.11, verifica-se que os tijolos de solo-cal (referência) obtiveram valores de absorção de 21,0 %, 20,0% e 19,0% e para os tijolos de solo-cal-25% de resíduo de demolição, os valores obtidos de absorção foram de 21,0%, 19,5% e 18,0% aos 28, 60 e 90 dias de cura respectivamente.

Comparando os resultados com a norma da ABNT NBR- 8492 (1984) a média dos resultados não deve apresentar valores maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%, portanto os tijolos de referência e com 25% de resíduo de demolição aos 60 e 90 dias de cura estão de acordo com a norma, com exceção dos tijolos aos 28 dias de cura.

Comparando a Figura 4.26 com a Figura 4.28, verifica-se que os valores de absorção de água dos tijolos foram superiores aos valores de absorção dos corpos de prova.

De acordo com a Figura 4.28 observa-se que os valores de absorção de água dos tijolos diminuíram em relação ao tempo de cura e também com a incorporação de resíduo de demolição.

Figura 4.28-Absorção de água dos tijolos solo-cal e solo-cal-resíduo de demolição



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Os tijolos solo-cal sem função estrutural com incorporação de resíduo de demolição da construção civil apresentaram propriedades físicas e mecânicas satisfatórias, em especial quando incorporados com teores variando entre 10% e 50%, estando todos os resultados de acordo com as especificações da ABNT.

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho de pesquisa demonstraram a viabilidade de utilização de resíduos de construção civil em tijolos solo-cal sem função estrutural, assim pode-se concluir que:

- o resíduo de demolição da construção civil apresentou composição mineralógica adequada para uso em tijolos solo-cal: mica, calcita e quartzo.
- o resíduo de demolição da construção civil apresentou distribuição de tamanho de partículas adequadas para uso como aglomerante pozolânico.
- o resíduo de demolição da construção civil apresentou baixa atividade pozolânica.
- os melhores resultados de resistência à compressão simples foram para o traço incorporado com 25% de resíduos de demolição da construção civil.
- os corpos de prova incorporados com 10% a 50% de resíduo de demolição da construção civil apresentaram propriedades físico-mecânicas de acordo com as especificações da ABNT.
- os tijolos solo-cal incorporados com 25% de resíduos de demolição da construção civil aos 90 dias de cura apresentaram propriedades físico-mecânico dentro das especificações da ABNT.
- a absorção de todos os corpos de prova atendeu às especificações da norma, enquanto que alguns valores nos tijolos foram superiores ao permitido;
- confirmou-se a relação inversamente proporcional entre resistência e absorção, dado que a diminuição da porosidade promove o preenchimento dos vazios e o aumento da resistência.

No entanto, é importante dar continuidade a este trabalho de pesquisa ao longo do tempo, visando avaliar e aprofundar os conhecimentos relativos a esse tema, para que seja possível estabelecer critérios para fabricação de insumos da construção civil com a incorporação segura destes resíduos, ou seja, a elaboração de norma pelo comitê da ABNT.

## 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, 1956, 51p.

ABCP. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais.** São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1985. 8p. BT-111.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. **NBR 6457 - Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 1986.**

\_\_\_\_\_. **NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez, 1984.**

\_\_\_\_\_. **NBR 6508 - Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, 1984.**

\_\_\_\_\_. **NBR 7175 – Cal hidratada para argamassas, 1992.**

\_\_\_\_\_. **NBR 7180-Solo - Determinação do limite de plasticidade, 1984.**

\_\_\_\_\_. **NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica, 1984.**

\_\_\_\_\_. **NBR 7182 - Solo - Ensaio de compactação, 1986.**

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

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 10836: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural, 1994.**

\_\_\_\_\_. **NBR 12023 - Solo-Cimento - Ensaio de compactação, 1992.**

\_\_\_\_\_. **NBR 12024 - Solo-Cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos, 1992.**

\_\_\_\_\_. **NBR 12025 - Solo-Cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos, 1990.**

\_\_\_\_\_. **NBR 12653: Materiais Pozolânicos – Exigências químicas e físicas, 2006.**

\_\_\_\_\_. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação, 2004.**

AÏTCIN, P.C. **Concreto de Alto Desempenho.** Ed. PINI. 1<sup>a</sup> edição. 667 p., São Paulo, 2000.

AKASAKI, J. L. **O tijolo cru como elemento construtivo de baixo impacto ambiental**. 322 p. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ALCANTARA, M. A. M.; LIMA, D. C.; BUENO, B. S.; COSTA, L. M. **Estabilização química dos solos em estradas agrícolas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa, UFV. **Anais...** Viçosa: SBEA, 1995.

ALCANTARA, M. A. M.; SILVA, S. A. M.; AGUILLAR, D. F.; SEGANTINI, A. A. S. **Estabilização de solos com cal em construções rurais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25 1996, Bauru.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. 155p.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. In: Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 4., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, CT 206. P. 43-56, 2001.

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2005. 167p.

ASTM – American Society for Testing and Materials Standard. **Specification for coal fly ash and raw of calcined natural pozzolans for use as mineral admixtures in concrete, C-618**. 1998.

BARONIO, G. E; BINDA, L. **Study of the pozzolanicity of some bricks and clays**. **Construction and Building Materials**, 1997. Vol. 11, No. 1, 41-46p.

BARROA, V. S. **Proposta de gestão sustentável dos resíduos sólidos da construção civil no município de Fortaleza**. Fortaleza. 2004. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2004.

CARMO, J.B.M. **Análise comparativa do desempenho de concretos compostos com sílica ativa e metacaulim em face de resistência mecânica e a viabilidade econômica**. Curitiba, 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. Projeto entulho bom** - Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312p.

CASTRO, W. A. de M. **Incorporação de resíduos de caulim em argamassas para uso na construção civil**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008.

CASSA, J. C. S. et al. **Diagnóstico dos setores produtores de resíduos na região metropolitana de Salvador /BA**. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J.

C. S. **Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção**: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001b. Cap.2, p.46-73.

CARVALHO JR. A. N.; SILVA A. P.; FRANÇA E. P. **Estudo Comparativo entre Argamassas de Cimento e Argamassas Mistas de Cimento e Cal para Uso em Emboco**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, 1º Goiânia. Brasil. Agosto 1995, Anais. Goiânia, 1995 pp. 261-271.

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, THABA – Programa Tecnologias da Habitação. **Manual de construção com solo-cimento**. São Paulo: ABCP, 1984.

CINCOTTO, M. A. **Utilização de Subprodutos e resíduos na indústria da construção civil**. Tecnologia das Edificações, Ed. PINI, São Paulo, 1988.

CORDEIRO, G. C. – **Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cana-de-Açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerai s em Concreto**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro/RJ, 2006.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Diretrizes e procedimentos para gestão dos resíduos da construção. Brasília: MMA/CONAMA. 2002.

ETAPAS DE OBRAS COM TIJOLO ECOLÓGICO, 2009. Disponível em: < <http://www.vimaqpressas.com.br/etapas-de-obras-com-tijolo-ecologico/> >. Acesso em: 20 jan. 2011.

GRIGOLI, A.S. Reciclagem de entulho em canteiro de obras – **Viabilidade econômica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43 2001, Foz do Iguaçu.

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, 2007. 118p.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI. **Estudo do aproveitamento de resíduos de construção na fabricação de tijolos de solo-cimento**. In: I Workshop Concreto, Qualidade e Novas Tecnologias, 2004, Ilha Solteira. 1 CD-ROM.

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

FUNDAÇÃO NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL – NUTEC. **Manual de Fabricação de Tijolo Solo-Cal**. 1985. 26p.

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

GUIMARÃES, J. E. P. **Estabilização de Solos – Nova e importante aplicação da cal – Seus conceitos e suas vantagens**. Boletim Nº1. São Paulo: ABCP, 1971.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal – Fundamentos e aplicações na engenharia civil.** Associação Brasileira dos Produtores de Cal. Editora Pini, São Paulo, 1998, 285p.

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição.** Trabalho de conclusão (Mestrado Profissional). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. 178p.

JOHN, V. M. **Durabilidade de materiais, componentes e edifícios.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1987. 157p.

JOHN, V. M. **Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos.** In: Seminário sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil. 1996. São Paulo. Anais São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1996. p21-30.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; PRADO, T. A. **Durabilidade de compósitos de cimentos e fibras vegetais.** In: III Seminário Internacional Durabilidade de materiais, componentes e estruturas. São Paulo. Julho, 1997.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese (Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. 113p.

LEAL, A. F.; **Utilização de resíduos das indústrias de cerâmicas e de calçados na elaboração de materiais e produtos à base de cimento Portland reforçados com fibras de sisal.** Tese de Doutorado. 128f. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 2004.

LEITE, M. B.; MOLIN, D. D. **Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo de C&D.** Sitientibus, Feirde Santana, n. 26. jan./jun./2002. 111-130p.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho na construção civil, para utilização como agregado de argamassa e concreto.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. 194p.

LEVY, S. M. e HELENE, P. R.L. **Reciclagem do Entulho da Construção Civil a Solução Política e Ecologicamente Correta.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, (2000)1º, Goiânia, Brasil. Anais. Goiânia pp. 315-325.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** 1999. 223f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 1999.

LIMA, R. C. O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2010. 107p.



LOPES JUNIOR, L. S. **Parâmetros de controle da resistência mecânica de solos tratados com cal, cimento e rocha basáltica pulverizada.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007. 147p.

LOVATO, R. S. **Estudo do comportamento mecânico de um solo laterítico estabilizado com cal, aplicado à pavimentação.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004. 144p.

MARQUES, J. C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil / José da Costa Marques Neto.** 1ª ed. São Carlos: RIMA, 2005 152p.

MESA VALENCIANO, M. C. ; FREIRE, W. J. **Tijolos de solo melhorado com cimento e fibras de bagaço de cana-de-açúcar: características físico-mecânicas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais**, Pelotas: [s.n],1999.

MILANI, A. P. S. **Avaliação físico-mecânica de tijolos solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. **Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz.** Eng. Agríc Jaboticabal, v.26, n.1, p.1-10, jan./abr. 2008.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo de fatores que influenciam na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. 172p.

MORAIS, G.M.D; **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: Subsídios para uma gestão sustentável.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2006.

NOBREGA, A. R. SÁ. **Contribuição ao diagnóstico da geração de entulho da construção civil no município de Campina Grande, PB.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2002.96p.

NITA, C.; JONH. V. M. **Materiais pozolânicos: O metacaulim e a sílica ativa.** Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil; 2007.

OLIVEIRA, A. A.; PICCHI, F. A.; CINCOTTO, M. A.; GUIMARÃES, J. E. P. **Tijolo solo-cal uma opção para a construção civil.** In: Revista Tecnológica, Setembro, 1988.

OLIVEIRA, D. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulhos da construção civil.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2004. 218p.

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 Eletrônica de Materiais e Processos, v.1, 2 (2006). Disponível em: [www.dema.ufcg.edu.br/revista](http://www.dema.ufcg.edu.br/revista) Acesso em junho/2010.

PICCHI, F. A.; CINCOTTO, M. A.; BARROS, J. M. C. Tijolos de solo-cal. **Revista Construção**, São Paulo, p. 93-8, 1990. Tecnologia de edificações IPT.

PINTO, T. P. et al., **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A experiência do SindusCon - SP.** São Paulo, 2005. 48p. Publicação SINDUSCON – SP.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. (Coord.) Manejo e gestão dos resíduos da construção civil. Volume 1 – Manual de orientação: como implementar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Brasília: CAIXA, 2005. 194p.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L.R., OLIVEIRA, A.L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto.** 1ª ed. Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROSA, A. D.; VENDRUSCOLO, M. A. **Aplicação de resíduos da construção em fundações superficiais.** In: XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 2006, Rio Grande do Sul.

SAHARA – INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS LTDA. **Manual Informativo ilustrado – O Solo-Cimento na Fabricação do Tijolo Modular.** São Paulo, 1998. 30 p.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos.** Florianópolis, 1997. 111 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, M. P. **Fabricação de solo-cimento com adição de resíduos de madeira provenientes da construção civil.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009. 108p.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibra de celulose.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2002.

SILVA, A. P.; AKASAKI, J. L. **Produção de tijolos de solo-cal + resíduos agroindustriais.** Engenharia Estudo e Pesquisa, Rio de Janeiro, v. 6, Nº 02, p. 81-88, 2003.

SILVA, E. P.; NASCIMENTO, J. 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: junho/2010.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDUSCON-SP). **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SINDUSCON-SP.** PINTO, T. P. et al., São Paulo: Obra Limpa/I&T/SINDUSCON-SP, 2005. 48p.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.** Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Brasília, 2001. 124p.

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, 2006.

SOUZA, Márcia I. B.; SEGANTINI, Antonio A. S.; PEREIRA, Joelma A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto.** AGRIAMBI, Campina Grande, v.12, n.2, p.205-212, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n2/v12n02a14.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2010.

TIJOLOS LAPIN – **Tijolos Ecologicos.** Disponível em: [WWW.lapintijolos.com.br](http://WWW.lapintijolos.com.br). Acessado em 20/10/2010

USCS (The Unified Soil Classification System) – Classificação Unificada dos Solos.  
VEDRONI, J. W. **Estudo de caso sobre a utilização do RCD (resíduos de construção e demolição) em re-aterros de valas nos pavimentos Piracicaba SP.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007. 181p.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção de concreto.** Campinas. 1997. 140p Dissertação (Mestrado) Faculdade de Eng<sup>a</sup> Civil, UNICAMP.