



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Estudo da Incorporação de Resíduos de Cerâmica Vermelha na Composição de Concreto para Uso em Estacas Moldadas *In Loco*

Patrycia Hanna Wada

Orientador: Prof. Dr. Antonio Anderson da Silva Segantini

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Estruturas

Ilha Solteira – SP
Fevereiro/2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP – Ilha Solteira.

W116e	Wada, Patrycia Hanna. Estudo da incorporação de resíduos de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas in loco / Patrycia Hanna Wada. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2010 108 f. : il. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2010 Orientador: Antonio Anderson da Silva Segantini 1. Concreto. 2. Fundações (Engenharia). 3. Resíduos de construção e demolição. 4. Agregados reciclados. 5. Resíduo de cerâmica vermelha.
-------	---



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Estudo da Incorporação de Resíduos de Cerâmica Vermelha na Composição de Concreto para Uso em Estacas Moldadas In Loco

AUTORA: PATRYCIA HANNA WADA

ORIENTADOR: Prof. Dr. ANTONIO ANDERSON S SEGANTINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ANTONIO ANDERSON S SEGANTINI

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ADRIANO SOUZA

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. DAVID DE CARVALHO

Departamento de Construções Rurais / Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP/Campinas-SP

Data da realização: 22 de fevereiro de 2010.

*“Dedico este trabalho ao meu orientador, professor Antonio Anderson da Silva Segantini,
pelo esforço, amizade, auxílio, atenção e dedicação
a mim despendidos”.*

“Aos meus pais, Egidio e Janete pelo esforço, dedicação e auxílio.

Ao meu irmão Henryque e ao meu companheiro Alan,

pela compreensão e incentivo”.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por todas as oportunidades e desafios.

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, me apoiaram e me incentivaram na realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Anderson da Silva Segantini pela atenção e dedicação para orientar esta pesquisa.

Gostaria de agradecer também a todos do Laboratório CESP (Companhia Energética de São Paulo) de Engenharia Civil (LCEC), em especial, ao engenheiro Flávio Moreira Salles que disponibilizou o laboratório para a realização dos ensaios e também pelos grandes conselhos, informações e ajuda durante o decorrer desta pesquisa.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da UNESP (Universidade Estadual Paulista) de Ilha Solteira, Gilson, Mário, Ronaldo e aos motoristas do setor de transporte da FEIS (Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira).

Aos técnicos do Laboratório CESP de Engenharia Civil, Michelan, Euclides, Francisco, Lana, Marcos, Joaquim, Bertolucci, Branco, Sérgio e Gilmar.

Aos amigos Daniel Simiele, José Luis, Flávio, Maria Lidiane Marques, Camilo Mizumoto, Everton José da Silva, Antônio Rogério e Felipe Sakae Bertolucci pela ajuda, informações e apoio durante a realização desta pesquisa.

Agradeço também meu tio Fábio Michel Hanna pela hospedagem, pela grande ajuda, pelos sábios conselhos e pelo incentivo para a conclusão deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudos concedida para o desenvolvimento deste trabalho.

Ninguém ignora tudo, ninguém sabe tudo.

Todos nós sabemos alguma coisa.

Todos nós ignoramos alguma coisa.

Por isso, aprendemos sempre.

Paulo Freire.

WADA, P. H. **Estudo da incorporação de resíduo de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas *in loco***. 2010. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

Resumo

A preocupação com o meio ambiente tem estimulado o interesse por pesquisas voltadas para o desenvolvimento sustentável. O presente trabalho objetivou estudar o reaproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) na composição de concreto, em substituição em massa ao agregado miúdo (areia), visando a sua utilização em estacas do tipo moldadas *in loco*. Foram confeccionados concretos com substituição de 20%, 40%, 60% e 80% de areia natural (em massa) pelo RCV. Realizaram-se ensaios de compressão simples e de módulo de elasticidade em todos os traços no estado endurecido e, no estado fresco, ensaios de incorporação de ar e de massa específica. Visando avaliar o seu comportamento em condições de campo, frente às ações de trabalho, foram confeccionadas três estacas de concreto com 40% de RCV, as quais foram submetidas à prova de carga por meio de ensaio rápido. Os resultados das provas de carga foram comparados com os de outros ensaios realizados no mesmo local, porém com estacas de concreto convencional. Concluiu-se que o reaproveitamento do RCV melhorou as características físicas e mecânicas do concreto e possibilitou a sua aplicação nas estacas em estudo.

Palavras-chave: Concreto; Fundações; Resíduo de Construção e Demolição; Agregados Reciclados; Resíduo de Cerâmica Vermelha

WADA, P.H. **Study of incorporation of red ceramic residue on concrete composition for using in piles foundation *in situ***. 2010. 108f. Dissertation (Civil Engineering Master's Degree) – Faculdade de Engenharia, São Paulo State University, Ilha Solteira, 2010.

Abstract

Concern for the environment has stimulated interest in research for sustainable development. The present work aimed investigated the reuse of red ceramic waste (RCW) in the concrete composition, replacing in weight to fine aggregate (sand) and proposing his application in cast-in-place piles foundations. Were made compositions with 20%, 40%, 60% and 80% of sand by RCW replacement. Compressive strength tests and modulus of elasticity were performed for all compositions of hardened concrete. Testing of air entraining and density were also made in the concrete in its fresh state. In order to evaluate his behavior under field conditions, on work load situation, three foundation piles were made, which were submitted the quick load test. The piles were made with 20.0 cm diameter and 4.50 m length using concrete with 40% replacement. The results obtained were compared with others load test carried at the same place, however with conventional concrete piles. It was concluded that reuse of RCW improved the physical characteristics and mechanics of concrete and its possible application in the piles foundation in study.

Keywords: Concrete; Pile Foundation; Construction and Demolition Waste; Recycled Aggregate; Red Ceramic Waste.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Composição dos RCD na cidade de São Carlos/SP (PINTO, 1986)</i>	22
<i>Figura 2 – Composição média do entulho de Salvador/BA (CARNEIRO et al., 2001)</i>	22
<i>Figura 3 - Classificação dos principais métodos executivos de estacas (VELLOSO & LOPES, 2002 apud MELO, 2009)</i>	37
<i>Figura 4 – Esquema da capacidade de carga de fuste e ponta da estaca. Figura (a) parcelas totais. Figura (b) parcelas unitárias (NIENOV, 2006)</i>	38
<i>Figura 5 – Gráfico da distribuição granulométrica do agregado miúdo natural</i>	44
<i>Figura 6 – Agregado miúdo natural</i>	45
<i>Figura 7 – Gráfico da distribuição granulométrica do agregado graúdo</i>	46
<i>Figura 8 – Agregado graúdo (brita 1)</i>	47
<i>Figura 9 – Britador de facas do Laboratório CESP de Engenharia Civil</i>	50
<i>Figura 10 – Agregado miúdo artificial (cerâmica vermelha) triturado</i>	50
<i>Figura 11 – Gráfico da distribuição granulométrica do resíduo cerâmico</i>	51
<i>Figura 12 – Aspecto visual do traço intermediário (1:8) do estudo de dosagem</i>	56
<i>Figura 13 – Diagrama de dosagem, segundo o método proposto por Helene & Terzian (1992)</i>	56
<i>Figura 14 – Estudo de Dosagem: Resistências dos concretos aos 7, 14 e 28 dias</i>	57
<i>Figura 15 – Corpos-de-prova moldados para o estudo de dosagem - traços 1:10, 1:8 e 1:6</i>	57
<i>Figura 16 – Coloração dos corpos-de-prova com os diferentes teores de substituição</i>	59
<i>Figura 17 – Ensaio de abatimento (Slump Test)</i>	60
<i>Figuras 18 – Aparelho (de pressão) que mede a quantidade de ar incorporado</i>	61
<i>Figura 19 – Determinação da massa específica</i>	61
<i>Figura 20 - Moldagem dos corpos-de-prova</i>	62
<i>Figura 21 – Câmara úmida</i>	62
<i>Figura 22 – Capeamento dos corpos-de-prova</i>	63
<i>Figura 23 – Prensa para ensaios de compressão simples</i>	63
<i>Figuras 24– Determinação do módulo de elasticidade</i>	64
<i>Figura 25 – Resultados de absorção (a) do traço padrão e (b) do traço com teor de substituição de 40%</i>	64
<i>Figura 26 – Furo da mini-estaca realizado com trado manual de 10 cm</i>	65

<i>Figura 27 – Conclusão da concretagem de uma mini-estaca</i>	66
<i>Figura 28 – Cura das mini-estacas no campo experimental</i>	66
<i>Figura 29 – Mini-estaca retirada do campo para ser ensaiada</i>	66
<i>Figura 30 - Detalhe do pilão utilizado na confecção dos furos</i>	68
<i>Figura 31 – Detalhe do início da abertura de um dos furos</i>	68
<i>Figura 32 – Detalhe do furo da estaca antes da concretagem</i>	69
<i>Figura 33 – Momento final da concretagem de uma das estacas</i>	69
<i>Figura 34 – Estaca pronta com os ferros de espera</i>	69
<i>Figura 35 – Fôrma do bloco antes da concretagem</i>	70
<i>Figura 36 – Concretagem de um dos blocos</i>	70
<i>Figura 37 – Conclusão da execução de um dos blocos</i>	70
<i>Figura 38 – Esquema de ensaio (prova de carga)</i>	71
<i>Figura 39 - Detalhe da estaca teste (estaca de compressão)</i>	72
<i>Figura 40 – Detalhe da estaca de reação</i>	72
<i>Figura 41 – Início do ensaio; equipamentos e viga de reação instalados para o ensaio</i>	73
<i>Figura 42 – Montagem da prova de carga</i>	74
<i>Figura 43 – Instalação dos relógios comparadores</i>	74
<i>Figura 44 – Instalação da rótula e da célula de carga</i>	75
<i>Figura 45 – Indicador de deformações</i>	76
<i>Figura 46 – Distribuição granulométrica dos agregados (areia, resíduo cerâmico e brita)</i>	79
<i>Figura 47 – Resultados das resistências de cada traço aos 7, 28, 56 e 120 dias</i>	81
<i>Figuras 48 – Médias dos resultados dos módulos de elasticidade para cada traço</i>	83
<i>Figura 49 – Média das resistências à compressão dos corpos-de-prova extraídos das mini-estacas</i>	84
<i>Figura 50 – Módulo de elasticidade em corpos-de-prova com 40% de RCV</i>	85
<i>Figura 51 – Curva carga x recalque da Estaca RCV-1</i>	87
<i>Figura 52 – Curva carga x recalque da Estaca RCV-2</i>	87
<i>Figura 53 – Curva carga x recalque da Estaca RCV-3</i>	88
<i>Figura 54 – Carga x recalque das estacas em concreto com RCV</i>	89
<i>Figura 55 – Carga x recalque das estacas em concreto simples ensaiadas por Nacano (2001)</i>	89

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Municípios com ações para a gestão de resíduos de construção e demolição (PINTO, 2004)</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 2 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo natural</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 3 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo natural</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 4 – Caracterização do agregado graúdo</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 5 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 6 – Caracterização do cimento CP II – Z – 32</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 7 – Resultados dos ensaios de caracterização do resíduo cerâmico</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 8 – Distribuição granulométrica do resíduo cerâmico</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 9 – Atividade pozolânica</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 10 – Dados do estudo de dosagem; traços rico, intermediário e pobre</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 11 – Dados referentes ao traço padrão</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 12 – Resultados dos ensaios com concreto fresco</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 13 – Resumo das cargas máximas obtidas nas provas de carga em estacas em concreto convencional (CON-1, CON-2 e CON-3) e em estacas com resíduo (RCV-1, RCV-2, RCV-3)</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 14 – Resultados das resistências dos corpos-de-prova extraídos das mini-estacas e dos CP's confeccionados com o mesmo material.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabela 15 – Resultados dos ensaios de absorção com os traços padrão e teor de 40% de RCV</i>	<i>106</i>
<i>Tabela 16 – Resultados das provas de carga das estacas com resíduo (RCV-1, RCV-2 e RCV-3)</i>	<i>107</i>
<i>Tabela 17 – Resultados das provas de carga com as estacas de concreto convencional (NACANO, 2001 apud MORAIS, 2002)</i>	<i>108</i>

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al₂O₃: Óxido de Alumínio

ASTM: American Society for Testing and Materials

Ca(OH)₂: Hidróxido de Cálcio

CESP: Companhia Energética de São Paulo

CO₂: dióxido de carbono (gás carbônico)

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

EC: European Commission

FEIS: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

IAP: Índice de Atividade Pozolânica

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LCEC: Laboratório CESP de Engenharia Civil

QML: Quick Mainteined Load

RCD: Resíduos de Construção e Demolição

RCRA: Resource Conservation and Recovering Act

RCV: Resíduos de Cerâmica Vermelha

RCW: Red Ceramic Waste

RTM: resíduo mineral tratado de cerâmica vermelha

SiO₂: Sílica

UNESP: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
CAPÍTULO II - OBJETIVOS.....	19
CAPÍTULO III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1. DEFINIÇÕES, CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO.....	21
3.2. O PROCESSO DE RECICLAGEM.....	26
3.2.1. AGREGADO RECICLADO.....	27
3.3. CERÂMICA VERMELHA	32
3.4. FUNDAÇÕES	36
3.4.1. DEFINIÇÕES.....	36
3.4.1.1. ESTACA APILOADA.....	36
3.4.2. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS ESTACAS	39
3.4.2.1. PONTOS RELEVANTES.....	39
3.4.2.2. PROVA DE CARGA.....	40
CAPÍTULO IV – PROGRAMA EXPERIMENTAL	43
4.1. MATERIAIS	43
4.1.1. AGREGADO MIÚDO NATURAL (AREIA)	44
4.1.2. AGREGADO GRAÚDO (BRITA).....	46
4.1.3. CIMENTO	47
4.1.4. ÁGUA DE AMASSAMENTO.....	48
4.1.5. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	49
4.1.6. AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL (RCV)	50
4.2. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	53
4.2.1. ESTUDO DE DOSAGEM	53
4.2.2. SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR CERÂMICA.....	59
4.2.3. ENSAIOS APLICADOS AO CONCRETO.....	59
4.2.3.1. ENSAIOS EM CONCRETO FRESCO	60
4.2.3.2. ENSAIOS EM CONCRETO ENDURECIDO.....	62
4.2.3.3. ABSORÇÃO	64
4.2.4. PROCESSOS DE CURA	65
4.2.5. PROVA DE CARGA.....	67
4.2.5.1. MONTAGEM DO ENSAIO.....	67
CAPÍTULO V – ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	78

5.1.1. GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS	78
5.1.2. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	80
5.2. CONCRETO PADRÃO E TEORES DE SUBSTITUIÇÃO	80
5.2.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	80
5.2.2. MÓDULO DE ELASTICIDADE	81
5.3. TEOR DE SUBSTITUIÇÃO ÓTIMO	83
5.3.1. ENSAIOS COM MINI-ESTACAS	84
5.3.2. ENSAIO DE ABSORÇÃO	85
5.3.3. ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA	86
5.4. PROVAS DE CARGA	86
<i>CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES</i>	93
<i>REFERÊNCIAS</i>	96
ANEXOS	106

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com resíduos, de maneira geral, é relativamente recente no Brasil. Diferente de países como EUA onde no final de 1960 já existia uma política para resíduos, chamada de *Resource Conservation and Recovering Act* (RCRA) – (*Lei de Conservação e Reciclagem de Recursos*), no Brasil ainda está em discussão uma legislação mais abrangente sobre resíduos e o Programa Brasileiro de Reciclagem ainda não saiu do papel. Apesar de algum avanço na reciclagem de resíduos domiciliares, obrigatoriedade de recolhimento de pneus e baterias, o Brasil está certamente ainda longe de políticas mais abrangentes como a política do governo dos EUA de compra preferencial de produtos ambientalmente saudáveis (AGOPYAN; JOHN, 2001).

Atualmente o padrão de desenvolvimento ainda caracteriza-se principalmente pela exploração excessiva e constante dos recursos naturais e à geração maciça de resíduos. Assim, tem-se um confronto entre meio ambiente e desenvolvimento, ao não se estabelecer patamares sustentáveis de produção e consumo (ANGELIS NETO; ANGELIS, 1999).

A construção civil é, certamente, a maior consumidora de recursos naturais de qualquer economia (JOHN, 2000). Recentemente tem-se reconhecido com maior precisão a composição dos resíduos urbanos, e verificou-se que estes são provenientes da construção civil na sua maior parcela (PINTO, 1997). Em razão da falta de políticas adequadas, boa parte destes Resíduos de Construção e Demolição (RCD) é disposta irregularmente. A limpeza destes RCD depositados irregularmente custa aos municípios uma quantia significativa de recursos (PINTO, 1999) que poderia estar sendo direcionada para a criação de melhor infraestrutura para a população em geral (ÂNGULO; JOHN, 2002).

Há algumas alternativas que podem ser consideradas quando se busca a redução dos custos de deposição e tratamento de RCD, tais como (JOHN, 1999):

- a redução do volume produzido; e a
- reciclagem dos resíduos.

A redução do volume de RCD gerado é um processo mais complexo de ser realizado, pois depende de uma série de fatores, dos quais a tecnologia construtiva pode ser citada. Por mais que haja uma constante reavaliação para o aperfeiçoamento dos processos construtivos, de forma a reduzir os custos e a quantidade de material desperdiçado, sempre haverá algo perdido. O setor da construção civil apresenta índices de desperdício significativos. Franchi et al. (1993) apud Lima, (1999) afirmam que o desenvolvimento tecnológico do setor é caracterizado pela utilização de processos tradicionais, e que a estrutura característica das empresas (pequenas e sem recursos para investimentos isolados em tecnologia e racionalização) dificulta mudanças nos procedimentos de construção utilizados. Ocorrem, em muitos casos, danos em serviços já prontos na execução de serviços subsequentes. Estas interferências levam à baixa produtividade e a perdas de materiais (FRANCHI et al., 1993 apud LIMA, 1999).

Por isso, existe a necessidade de se encontrar soluções para o problema dos resíduos, com formas práticas de reciclagem na própria obra ou em usinas apropriadas. A reciclagem pode introduzir no mercado um novo material com grande potencialidade de uso, transformando o entulho, novamente, em matéria-prima (ZORDAN, 1997).

A reciclagem ou reutilização dos RCD não apresenta, a princípio, qualquer limite de natureza tecnológica e é a única alternativa que pode gerar recursos financeiros (JOHN, 1999). A reciclagem de resíduos não envolve apenas a preservação ambiental, mas também a possibilidade de redução de custos e de consumo de energia na produção de materiais de construção civil. A construção civil, pelo extraordinário volume físico de materiais que incorpora, é o maior mercado potencial para reciclagem (SILVA, 1997).

Segundo John (1999) a reciclagem de RCD é uma das maneiras de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando eventualmente reduções de preços que geram benefícios sociais adicionais através de políticas habitacionais.

Como consequência da reciclagem de entulho, com o objetivo de se obter material que passe a ser reutilizado na construção civil, pode-se aumentar o tempo de vida útil dos aterros de resíduos inertes e minimizar os impactos ambientais provenientes da mineração (ZULAUF, 1999).

Dessa forma, a construção civil depara-se com o desafio de reduzir o volume dos RCD gerados nos processos construtivos e isto tem estimulado o interesse por pesquisas nas quais se preconiza o aproveitamento destes.

Assim, o presente trabalho não buscou somente benefícios econômicos e ecológicos, mas também benefícios tecnológicos ao apresentar o resíduo de cerâmica vermelha (RCV) como um agregado, em substituição à areia natural, para aplicação na confecção de concreto.

OBJETIVOS

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS

De forma geral, objetivou-se neste trabalho estudar a influência da adição de resíduos de cerâmica vermelha (RCV), nas características mecânicas do concreto, em substituição ao agregado miúdo natural, tendo em vista a sua aplicação em fundações profundas moldadas *in loco*, propiciando para este resíduo uma aplicação nobre, apropriada e com respaldo técnico e científico.

De forma mais específica, objetivou-se analisar o comportamento do RCV como agregado, em substituição à areia, através de análises químicas e físicas; estudar o comportamento mecânico do concreto confeccionado por meio de diferentes composições; e analisar a possibilidade técnica do uso de RCV na confecção de estacas moldadas *in loco*, determinando-se a capacidade de carga por meio da realização de provas de carga.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO III

3. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD

3.1. DEFINIÇÕES, CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO

A Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2002) define os resíduos de construção civil com sendo tudo aquilo que é proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e também os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gessos, telhas, pavimentos asfálticos, vidros, plásticos, tubulações, fiações elétricas etc., comumente chamados de entulhos de construção.

Os RCD de origem mineral são compostos por concretos, argamassas, tijolos, blocos, telhas, solos, gessos, etc., e representam 90% dos RCD, no Brasil (CARNEIRO et al., 2000), na Europa (HENDRIKS, 2000) e em alguns países asiáticos (HUANG et al., 2002).

De acordo com Pinto (1986), o que sai dos canteiros de obra na cidade de São Carlos, em média, é composto por 64% de argamassa, 30% de componentes cerâmicos (tijolos maciços e furados, telhas e blocos) e os 6% restantes de outros materiais, como concreto, pedra, areia, materiais metálicos e plásticos. Para este estudo foram avaliadas 33 amostras de diferentes pontos de coleta na cidade, conforme se observa graficamente na Figura 1.

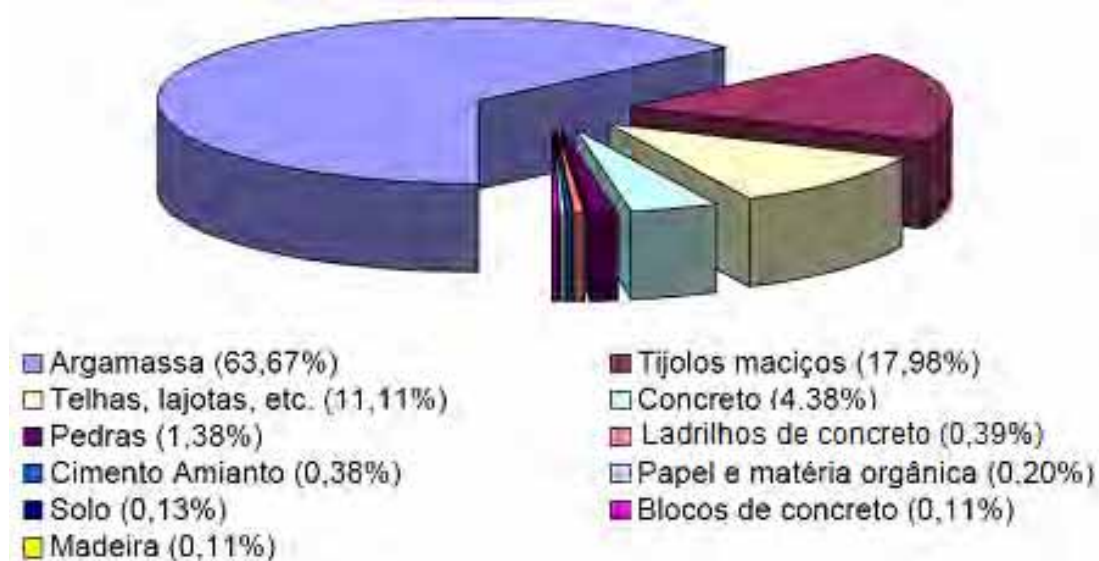


Figura 1 – Composição dos RCD na cidade de São Carlos/SP (PINTO, 1986).

Estudos apresentados por Carneiro et al. (2001) mostraram que na cidade de Salvador-BA, em média, os RCD são compostos por 94% de materiais com alto potencial para reciclagem e reutilização. Segundo o autor, estes resíduos são compostos por 53% de concretos e argamassas, 14% de cerâmica vermelha e branca, 5% de rochas naturais, que juntos totalizam 72% do entulho estudado. Estes materiais, após o processo de britagem, podem produzir agregados com alto potencial de utilização na construção civil. Outra parte significativa deste entulho é composta por solo e areia, em média 22%, que após a britagem será ainda maior. A Figura 2 mostra a composição média do entulho de Salvador-BA.

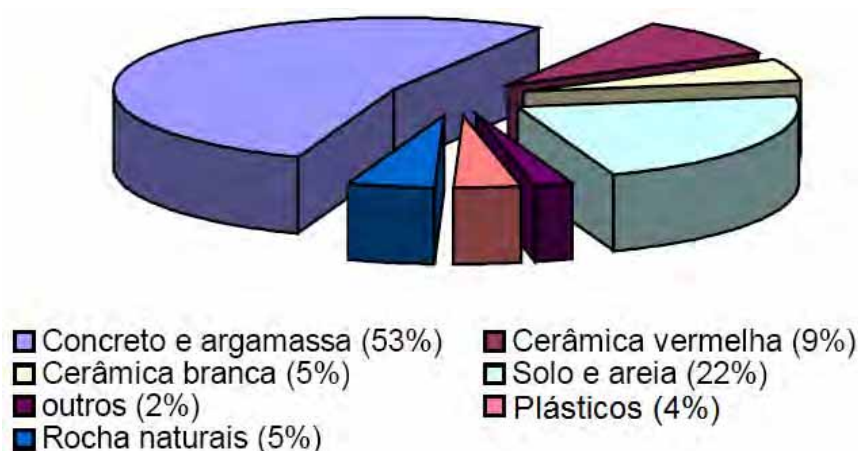


Figura 2 – Composição média do entulho de Salvador/BA (CARNEIRO et al., 2001).

A variação na composição dos RCD acontece em função do tipo de obra, da técnica construtiva empregada, da fase em que a obra se encontra e também em função de características sócio-econômicas regionais (ÂNGULO, 2000; OLIVEIRA, 2002).

O crescimento da economia e da população mundial tem provocado aumentos consideráveis na exploração dos recursos naturais. No Japão, em 1995, estimou-se um consumo de 2,6 bilhões de toneladas de materiais, cerca de 18,7 toneladas por habitante ao ano (KASSAI, 1998). Já o consumo de matérias-primas renováveis foi reduzido de 40% para 8% no mesmo período. No mundo, o consumo de materiais entre 1970 e 1995 passou de 5,7 bilhões de toneladas para 9,5 bilhões, cerca de 1,6 toneladas por habitante ao ano (MATOS; WAGNER, 1999).

Em contrapartida, segundo John (1999), o desenvolvimento sustentável vem criando raízes na sociedade e certamente irá abranger as atividades da construção civil, da extração de matérias-primas, da produção de materiais de construção, chegando ao canteiro de obras e às etapas de operação, manutenção e demolição. Assim, nos trabalhos que visem a sua redução, reutilização ou reciclagem, a caracterização dos RCD passa a ser imprescindível (LIMA; VIEIRA, 2001).

Os resíduos são classificados levando-se em consideração o risco ambiental, para que possam ter o correto destino ou manuseio. No Brasil existe uma norma que trata da classificação dos resíduos sólidos, a NBR 10004 – “Resíduos Sólidos - Classificação” (ABNT, 2004). De acordo com esta norma, os RCD podem ser classificados na classe III, ou seja, inertes. Isto se deve ao fato de que estes resíduos possuem componentes minerais não poluentes e serem inertes quimicamente (LEITE, 2001).

Entretanto, a heterogeneidade dos RCD e a sua dependência direta com as características das obras que lhes deram origem podem enquadrá-lo em outra faixa de classificação, ou seja, uma obra pode fornecer um entulho inerte num determinado momento da obra, mas em outro momento poderá apresentar elementos que o tornem não-inerte ou até mesmo perigoso (ZORDAN, 1997).

A Resolução CONAMA nº 307, de 05/07/2002 classifica o resíduo da construção civil dentro das seguintes classes:

Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas 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.) produzidas nos canteiros de obras.

Classe B – são resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.

Classe C - são resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.

Classe D – são 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.

De forma geral, a quantidade de RCD gerada nas cidades é igual ou maior do que a de resíduo domiciliar. Pinto (1999) estimou que em cidades brasileiras de médio e grande porte a massa de RCD gerada varia entre 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos.

A utilização de materiais reciclados provenientes dos entulhos em substituição ao material convencional é bastante abrangente. A caracterização destes materiais será importante para se ter uma indicação de suas potenciais vantagens competitivas em termos de desempenho e não em termos custo. Segundo John (1997), sempre que possível deverão ser buscadas aplicações nas quais o produto não tenha que enfrentar concorrentes diretos.

O entulho serve para substituir materiais normalmente extraídos de jazidas e pode se transformar em matéria-prima para componentes de construção, de qualidade comparável aos

materiais tradicionais. Hamassaki (1997) afirma que os resíduos originários da construção civil, que são em quantidade significativa frente aos outros tipos de resíduos, têm sido ultimamente estudados quanto à sua reutilização como agregado para concretos, em blocos não-estruturais.

Do ponto de vista técnico, as possibilidades de reciclagem dos resíduos variam de acordo com a sua composição. Quase a totalidade da fração cerâmica pode ser beneficiada como agregado com diferentes aplicações conforme sua composição específica. As frações compostas predominantemente de concretos estruturais e de rochas naturais podem ser recicladas como agregados para a produção de concretos estruturais. A presença de fases mais porosas e de menor resistência mecânica, como argamassas e produtos de cerâmica vermelha e de revestimento, provoca uma redução da resistência dos agregados e um aumento da absorção de água. Assim, agregados reciclados encontram aplicação limitada a concretos de menor resistência, como blocos de concreto, contrapisos e camadas drenantes. Uma aplicação já tradicional no mercado é a reciclagem destes resíduos na produção de argamassas em canteiro, através de equipamento específico (JOHN; AGOPYAN, 2000).

Para John e Agopyan (2000), frações compostas de solo misturado a materiais cerâmicos e teores baixos de gesso, podem ser recicladas na forma de sub-base e base para pavimentação. As demais frações, especialmente madeira, embalagens e gesso ainda não dispõem de tecnologia de reciclagem. Pinto (1997) relata que a reciclagem tem demonstrado bom desempenho para diversos usos nas obras urbanas, com redução de custos bastante vantajosa. Existe ainda a possibilidade de se programar sua reutilização em diversos serviços, como na execução de base para pavimentação de vias, habitações e outras edificações, além de execução de muros, contenção de encostas e produção de artefatos (guias, sarjetas, tubos).

Além da produção de agregados para uso em pavimentação, contenção de encostas, canalização de córregos e uso em argamassas e concretos, também é possível a fabricação de componentes de construção como blocos, peças de pavimento, tubos para drenagem e placas. Para todas estas aplicações é possível obter similaridade de desempenho em relação aos produtos convencionais, com custos muito competitivos.

3.2. O PROCESSO DE RECICLAGEM

Para Moraes (2008), sem qualquer sombra de dúvidas a maior experiência brasileira na área de reciclagem de produtos gerados por outras indústrias na produção de materiais de construção civil é a conduzida pela indústria de cimento, que recicla principalmente escórias de alto-forno básicas e cinzas volantes. Yamamoto et al., (1997) apud Moraes (2008) estimam que em 1996 a indústria de cimento brasileira ao adotar a reciclagem maciça de cinzas volantes e escórias granuladas de alto-forno básicas, além da calcinação de argilas e adição de *filler* calcário, reduziu a geração de CO₂ em 29% e houve uma economia de combustível de 28%. Atualmente a indústria de cimento inicia no Brasil a prática de co-processamento, definido como calcinação de resíduos em fornos de cimento, reduzindo o consumo de energia e diminuindo o volume de resíduos em aterros (MORAES, 2008).

Apesar de ser uma atividade recente, a reciclagem de RCD no país tem se desenvolvido mais significativamente nos últimos cinco anos (MIRANDA; ÂNGULO; CARELI, 2009). Segundo Jardim (1995), o processo de reciclagem é o resultado de uma série de atividades nas quais materiais que se tornam resíduos são coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na fabricação de bens, que antes eram feitos apenas a partir da matéria-prima virgem.

Com relação à reciclagem de entulho, Levy (1997) afirma que tal processo pode ser compreendido como um conjunto de operações, abrangendo a coleta, a seleção, a moagem e o peneiramento, de modo que o material resultante apresente granulometria adequada ao uso a que se destina.

O beneficiamento tradicional visando à reciclagem compreende uma ou mais etapas de classificação dos resíduos, separando as fases indesejáveis em agregados, britagem e peneiramento. Além das tecnologias de separação manual e magnética em uso no Brasil, existem tecnologias de classificação que se utilizam da diferença de densidade das diferentes fases componentes de um resíduo. Estas tecnologias permitem, inclusive, a separação dos agregados cerâmicos nas frações de concreto e rocha das frações porosas. Evidentemente, estes processos significam acréscimos no custo do processo.

O processo de reciclagem pode ser classificado em dois tipos: reciclagem primária e reciclagem secundária. A primária é definida como reciclagem do resíduo dentro do próprio processo que o originou, como por exemplo, a reciclagem do vidro, do aço, das latas de alumínio. Já a secundária é definida como a reciclagem de um resíduo em outro processo, diferente daquele que o originou. Este último tipo é bastante observado na indústria de produção de cimento, que utiliza uma quantia considerável de resíduos gerados em outras atividades (JOHN, 2001).

A reciclagem surge 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. Ultimamente a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo o mundo, seja por questões de ordens políticas, econômicas ou ambientais. Esta técnica de minimização de resíduos é importante, pois com a reciclagem de RCD haverá uma diminuição do impacto ambiental nos grandes centros e uma elevada contribuição no gerenciamento dos problemas causados pelo elevado volume que diariamente é produzido. Assim, haverá um crescimento da vida útil dos aterros sanitários, diminuição dos pontos de descarte clandestinos e redução dos custos de gerenciamento de resíduos.

3.2.1. AGREGADO RECICLADO

O grande desafio da construção civil, atualmente, é conciliar uma atividade produtiva com ações que conduzam a um desenvolvimento sustentável consciente e menos agressivo ao meio ambiente. Por ser uma questão complexa, requer grandes mudanças culturais e comportamentais, e ampla conscientização, principalmente de todos os envolvidos no processo construtivo (empreendedores, fornecedores, responsáveis técnicos, funcionários e órgãos públicos). Uma das formas de se reduzir os problemas gerados pelo acúmulo de resíduos na construção civil é a reciclagem. Para isto, é necessário tornar comum e automatizado o ciclo de reaproveitamento dos materiais, para reduzir os desperdícios e ao mesmo tempo gerar economia na obra (TRINDADE, 2008). Segundo pesquisa desenvolvida pelo mesmo autor em canteiro de obra, alguns problemas de aplicação desse processo de reciclagem, foram resolvidos adequadamente no decorrer do trabalho com ajuda e alternativas propostas pelos próprios funcionários da empresa. A gestão de RCD foi muito bem aceita por todos os trabalhadores da obra. Porém, no início estes foram um pouco receosos. Com auxílio

de palestras de conscientização, os funcionários passaram a aceitar e cooperar com a gestão dos resíduos. Tendo em vista os resultados obtidos, foi concluído que a segregação dos RCD feita no canteiro de obras pelos próprios funcionários é eficaz, pois reduz o desperdício, aumenta a reutilização e promove um destino final correto para os resíduos.

Para que haja aceitação no mercado de um produto resultante da reciclagem é necessário conhecê-lo muito bem quanto às suas propriedades físicas, químicas e tecnológicas, bem como a viabilidade econômica de sua produção e utilização.

Quanto ao aspecto físico, um dos maiores problemas do agregado reciclado de RCD é a sua 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 revestimentos.

Com relação às propriedades químicas é necessário avaliar qualitativa e quantitativamente os impactos ambientais que podem ser causados com a utilização deste produto, tais como as possíveis contaminações químicas das águas subterrâneas e superficiais e as interações deste produto com o solo. A economia também deve ser avaliada, pois a viabilidade de produção do agregado reciclado está condicionada ao fato do mesmo ter um custo inferior ao do agregado natural.

Quanto à utilização dos RCD, atualmente, várias são as aplicações possíveis e algumas delas já estão bem difundidas, tais como, a utilização na confecção de blocos de concreto, argamassa para revestimentos, em base e sub-base de pavimentos e na produção de concretos magros sem fins estruturais, entre outros.

Segundo Koerner e Daniel (1997), alguns materiais de construção e demolição podem ser usados no sistema de cobertura final de aterros sanitários. Tem-se conhecimento de que os RCD, sem passar por um processo de beneficiamento, vêm sendo utilizado empiricamente em vários centros urbanos como, por exemplo, no aterro metropolitano de Jardim Gramacho, Duque de Caxias – RJ. Sabe-se também que na cidade de Belo Horizonte - MG, existe um aterro sanitário, em que o resíduo da construção e demolição (sem passar por um processo de beneficiamento) tem sido utilizado como camada de cobertura diária, porém com acompanhamento e avaliação da compactação deste material (SIMÕES et al., 2003).

Tecnologias do Tratamento de Minérios são aplicadas na reciclagem dos RCD. O Tratamento de Minérios é uma sequência de operações unitárias e tem o objetivo de, a partir de um minério, produzir um concentrado com qualidade física e química adequada à sua utilização pela indústria de transformação (metalúrgica, química, cerâmica, vidreira, etc.) (CHAVES, 1996). Neste tratamento, não existe qualquer alteração da estrutura interna do mineral, tais como reações químicas, metalúrgicas ou cerâmicas. As operações unitárias do Tratamento de Minério são de quatro tipos (CHAVES, 1996): de redução de tamanho (britagem), de separação de tamanho (peneiramento), de concentração (diferença de densidade) e auxiliares.

Se por um lado, não há viabilidade em exigir neste momento a plena reciclagem dos resíduos captados da construção urbana, não se poderia, por outro, aceitar a continuidade dos bota-foras. Para Pinto (2004) não haverá no Brasil, em curto prazo, índices elevados de retorno destes materiais no ciclo produtivo (como na Holanda com 90%, Bélgica com 87% e Dinamarca com 81%). Mas a população pode começar a adotar práticas que respeitem estes materiais como recursos naturais não renováveis. Para isto servirá a Resolução CONAMA 307, que instituiu a figura dos Aterros de Resíduos da Construção Civil onde, não havendo uso urbano futuro designado para a área, necessariamente o material deverá ser reservado, de forma segregada e disponibilizado para recuperação no momento em que houver condições econômicas e políticas adequadas (PINTO, 2004). Se houver reservas de materiais plenamente recicláveis e de boa qualidade, a racionalidade aplicada à gestão ambiental evitará o desmonte de jazidas em ambientes naturais importantes e evitará o transporte de agregados naturais por longas distâncias (PINTO, 2004).

Quando se analisa o material descartado pelas obras de construção civil, observa-se que apesar da heterogeneidade, a sua quase totalidade é de alto valor agregado, constituindo-se em verdadeiras jazidas de matérias-primas que são passíveis de serem exploradas (OLIVEIRA, 2002).

A reciclagem na construção civil pode gerar muitos benefícios, tais como:

- Redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000);
- Redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem;
- Diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas consequências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos;
- Preservação das reservas naturais de matéria-prima.

Já existem também vários municípios que operam centrais de reciclagem de RCD (JOHN, 2001). Em Belo Horizonte, onde após vários anos de esforços, multiplicam-se as instalações para captação de pequenos volumes de RCD com enorme impacto para a qualidade ambiental e consolida-se na população o hábito de reciclagem dos resíduos. Estas são experiências que se incorporam à administração da cidade e se multiplicam em outros municípios, nos quais já se observam sinais de implantação de ações específicas na gestão destes resíduos (PINTO, 2004). Na Tabela 1, é apresentada a relação dos municípios nos quais já se observam ações para gestão de resíduos de construção.

Tabela 1 - Municípios com ações para a gestão de resíduos de construção e demolição.

Municípios	Plano de gestão implantado ou em implantação	Áreas de recepção de pequenos volumes	Áreas de transbordo e triagem	Unidades de reciclagem implantadas ou em implantação
Belo Horizonte, MG	Sim	23	1	3
São Paulo, SP	Sim	2	4	2
Salvador, BA	Sim	6		
Maceió, AL		5		
Uberlândia, MG		18		
São J. Rio Preto, SP	Sim	6	2	1
Piracicaba, SP	Sim		1	1
Araraquara, SP		5		
São Carlos, SP		1		1
Ribeirão Preto, SP				1
São J. Campos, SP				1
Guarulhos, SP	Sim	2	3	2
Diadema, SP	Sim	3		
Ribeirão Pires, SP	Sim	3		1
Santo André, SP		8		
Vinhedo, SP				1
Londrina, PR				1
Macaé, RJ				1
Brasília, DF				2
Rio de Janeiro – RJ		35		2
Campinas – SP				1
Socorro – SP				1

Fonte: Pinto (2004)

3.3. CERÂMICA VERMELHA

Atualmente existem várias barreiras a serem vencidas para a introdução de novos produtos contendo resíduos como: legais, regulamentares, educação e informação, tecnológicas, econômicas e geográficas (LAURITZEN, 1998) e de mercado (JOHN, 2000). Outra barreira é que a introdução de um novo produto no mercado da construção civil é sempre difícil. O caminho mais fácil para superar esta limitação envolve o desenvolvimento de aplicações nas quais os produtos contendo agregado reciclado apresentem vantagens competitivas sobre os produtos tradicionais, além de preço compatível. Assim, provavelmente seja mais fácil encontrar mercado para produtos contendo agregado reciclado do que para o agregado isoladamente.

Xavier et al. (2008) realizaram estudos no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense para avaliar a influência da adição de um resíduo mineral de cerâmica vermelha tratado (RTM) na resistência de argamassas e concreto de cimento portland. O objetivo dos trabalhos foi o de viabilizar uma técnica de recuperação dos resíduos da indústria de cerâmica do Município de Campos dos Goytacazes que, após a reciclagem, poderiam ser utilizados na construção civil como componentes de argamassa e concreto.

Os autores chegaram às seguintes conclusões:

- A substituição parcial do cimento pelo RTM propiciou melhora significativa nas propriedades de concretos e argamassas não só pelo efeito *filler* que aumenta a compacidade da mistura, mas também pelo efeito pozolânico do RTM consumindo parte da portlandita produzida na hidratação do cimento; por outro lado, esta substituição, em torno de 15% em peso do cimento nos traços de argamassa e concreto, representou apreciável economia de recursos não renováveis e de custo dos produtos finais;

- A utilização do RTM ofereceu uma boa solução ambiental para a região onde se situa a indústria cerâmica, visto que esta não dispõe de locais específicos para deposição dos resíduos.

Alves et al. (2002) chegaram praticamente às mesmas conclusões ensaiando material de cerâmica vermelha procedente do município de Santa Rita no Estado da Paraíba misturado com cimento CPM F 32 da CIMEPAR, situada no município de João Pessoa:

- O índice de atividade pozolânica correspondente a 75 % da resistência da argamassa de controle foi atingido com teores de utilização de 45% de resíduo na mistura e, nestas condições, o uso dos resíduos ensaiados como material de substituição do cimento pode gerar benefícios ecológicos resultantes da redução do consumo de cimento, da emissão de CO₂ e da energia utilizada na sua fabricação.

Kim et al. (2002) reportam ensaios realizados com resíduo cerâmico mineral com propriedade similar à cinza volante, composto de SiO₂ e Al₂O₃, produzido em Yeojoo, Ichon e Kwangju, na Korea. As propriedades do concreto utilizando estes resíduos como agregado miúdo e graúdo foram estudadas experimentalmente e os resultados indicaram que o resíduo cerâmico pode ser utilizado como agregado graúdo ou miúdo para concreto.

Nos últimos anos, observou-se uma gama considerável de trabalhos em desenvolvimento em muitos centros de pesquisa, nos quais se buscavam reduzir custos na confecção do concreto e de outros materiais, através da substituição parcial do cimento por adições minerais, como é o caso, por exemplo, da metacaulinita, das cinzas volantes, sílica ativa, cinza de casca de arroz, etc. Estas adições possuem sílica na forma amorfa, que na presença de água podem se combinar com a cal resultante da hidratação do cimento e formar compostos de ação similar a dos silicatos. Outras adições, como o pó de calcário moído, não possuem esta ação pozolânica. Entretanto, em razão da elevada finura, seus grãos podem preencher os vazios entre as partículas de cimento, aumentando assim a compacidade do material e a sua resistência. A isto se dá o nome de efeito *filler*, e é justamente esta característica que se busca nos estudos de adição de material cerâmico moído.

Winkler e Müller (1998) estudaram a adição de pó de tijolos cerâmicos ao cimento, utilizando resíduos constituídos por pó de tijolos queimados a baixas temperaturas e também de tijolos queimados a elevadas temperaturas, adicionados em teores entre 0 e 60%. A atividade pozolânica foi analisada em função do consumo de Ca(OH)_2 , medida por intermédio de difração de raio-X aos 28, 91 e 180 dias. Uma diminuição do teor de Ca(OH)_2 foi observada com o aumento do teor de resíduo. Entretanto, não houve diferenças nas composições de mesmo teor de resíduo. Winkler e Müller (1998) consideraram que o pó dos tijolos queimados a altas temperaturas possui maior atividade pozolânica, pois para este material foram obtidos os melhores resultados de resistência à compressão. Porém, se apenas os resultados de consumo de Ca(OH)_2 fossem avaliados, a conclusão seria de que não há diferença em se utilizar tijolos cerâmicos queimados a baixas ou a altas temperaturas. Assim, segundo Winkler e Müller (1998), os resultados encontrados na literatura sobre este assunto não podem ser considerados conclusivos. Apenas pode-se afirmar que o efeito pozolânico existe, a depender do tipo e quantidade de material que está sendo utilizado, sendo necessário um estudo criterioso em cada caso.

Pinto (1999) diz que no Brasil eram gerados anualmente cerca de 90 kg de resíduo cerâmico por habitante e a quase totalidade deste material era lançada no meio ambiente, sem nenhum tratamento. De acordo com este autor, a maioria das argilas com as quais se fabricam blocos cerâmicos em estado natural possui pequena atividade pozolânica, mas torna-se reativa quando calcinada em temperaturas da ordem de 700 a 900 °C. Este material, quando moído, apresenta composição físico-química dentro das especificadas pela ASTM 618 (American Society for Testing and Materials- ASTM, 1992) para uso como adição mineral em misturas com cimento Portland.

Dallacort et al. (2002) realizaram estudo experimental objetivando, na confecção do solo-cimento, substituir parte do cimento por resíduo cerâmico moído. Na sua programação experimental foram realizados ensaios de compressão em 81 corpos-de-prova cilíndricos, empregando-se três composições de material aglomerante (cimento + resíduo) na dosagem do solo-cimento. Dallacort et al. (2002) apresentaram estudo estatístico por meio de análise de variância da massa específica do material e da resistência à compressão, concluindo que os resíduos cerâmicos moídos possuem ação pozolânica e efeito *filler*. Os valores obtidos de resistência à compressão foram superiores a 2,0 MPa, em substituições de até 57%, para um

teor de material aglomerante de 8%. De acordo com as prescrições da NBR 8492 (ABNT, 1984), a resistência dos tijolos de solo-cimento aos 7 dias deve ser no mínimo de 2,0 MPa.

De acordo com Leite (2001), a composição dos RCD apresenta uma grande quantidade de materiais de base cimentícia e materiais cerâmicos, como pode ser observado nos trabalhos de Zordan (1997), Latterza (1998) e Carneiro et al. (2001), entre outros. Estes materiais, principalmente os materiais cerâmicos, apresentam características que podem contribuir para a melhoria das propriedades mecânicas de concretos e argamassas produzidos com o agregado miúdo reciclado. Neste sentido, e com base nos resultados apresentados no trabalho desenvolvido por Leite (2001), observou-se que o material cerâmico finamente moído poderia contribuir com alguma atividade pozolânica, melhorando o desempenho mecânico dos concretos em idades mais avançadas. Deste modo, foi desenvolvido um estudo piloto para avaliar a atividade pozolânica do material cerâmico finamente moído em argamassas com cal e com cimento. Assim, são apresentados resultados de estudo sobre a atividade pozolânica dos resíduos cerâmicos presentes na fração miúda dos agregados reciclados de construção. Também foram realizados ensaios para a determinação do índice de atividade pozolânica do material cerâmico com a cal e com o cimento, como prescrevem as normas brasileiras. Os resultados de resistência apontaram que existe atividade pozolânica tanto com o cimento quanto com a cal.

3.4. FUNDAÇÕES

3.4.1. DEFINIÇÕES

3.4.1.1. ESTACA APILOADA

Estacas apiloadas são aquelas em que o furo é aberto por intermédio da ação da queda de um pilão (soquete), cuja massa varia de 2,0 kN a 6,0 kN. A concretagem é feita *in loco* empregando-se concreto de consistência plástica. Segundo a NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 1996) este tipo de estaca é tratado como estaca do tipo broca.

Segundo a mesma norma, fundação profunda é um elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m, salvo justificativa. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões e os caixões.

As estacas são elementos de fundação profunda executados inteiramente por equipamentos ou ferramentas sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de operário. Os materiais empregados podem ser: madeira, aço, concreto pré-moldado ou concreto moldado *in situ*.

As fundações por estacas podem ser classificadas de acordo com o material e o processo executivo. As estacas classificadas pelo tipo de material são compostas por madeira, concreto, aço ou mistas. Já pelo método ou processo de execução são classificadas em estacas com ou sem deslocamento (MILITITSKY, 1980). A Figura 3 apresenta uma síntese da classificação dos principais métodos de execução de estacas.

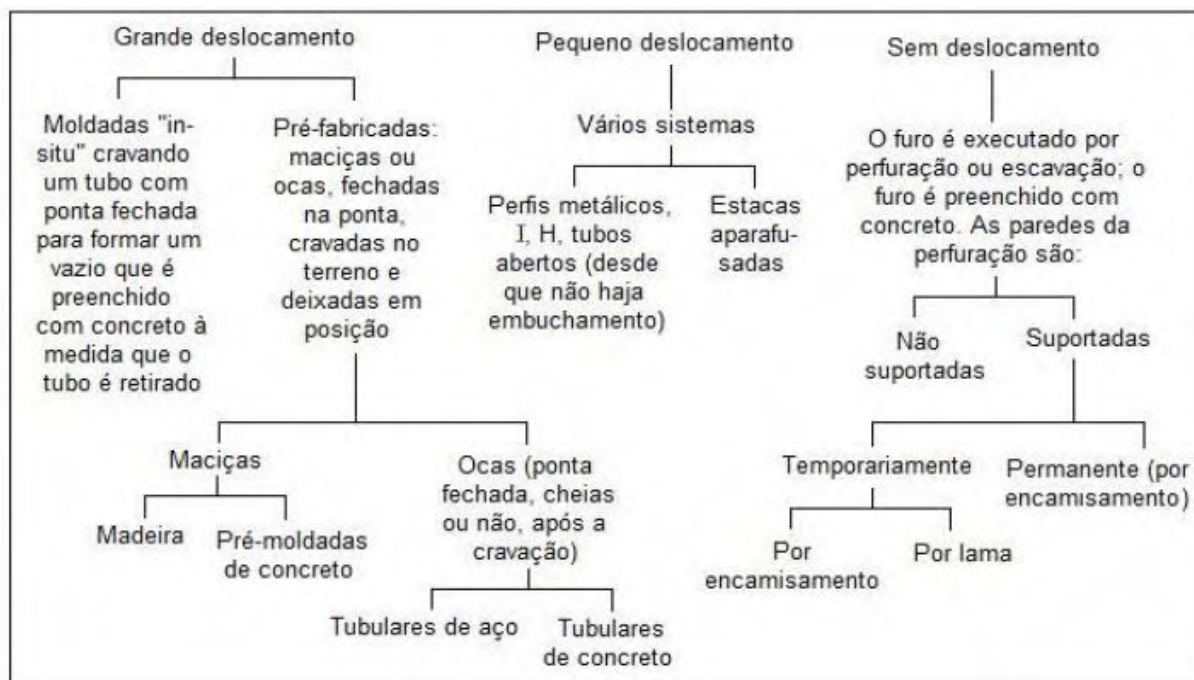


Figura 3 - Classificação dos principais métodos executivos de estacas
(VELLOSO; LOPES, 2002 apud MELO, 2009).

Estacas de deslocamento são aquelas introduzidas no terreno por meio de algum processo que não promova a retirada do solo. Enquadram-se neste tipo as estacas pré-moldadas de concreto, as metálicas, as de madeira, a Franki e a Omega. Estacas sem deslocamento são aquelas executadas com perfuração do terreno por meio da escavação *in loco*, com remoção de material. As estacas escavadas manualmente ou mecanicamente, como é o caso das estacas tipo Strauss, barretes, estações, hélices contínuas e as estacas injetadas são classificadas como estacas sem deslocamento.

Fundações profundas com uso de estacas são recomendadas principalmente quando se deseja transmitir a carga da estrutura por meio de material de baixa capacidade de carga até atingir uma camada mais profunda com capacidade de carga adequada. Desta maneira, pode-se desenvolver capacidade de carga pelo atrito entre a estaca e o solo. Milititsky (1980) cita que este tipo de fundação é utilizado quando existem cargas laterais e esforços de tração a serem resistidas. Seu objetivo é melhorar a capacidade de carga dos solos com elementos cravados (somente em solos granulares), eliminar ou diminuir recalques indesejáveis, transferir cargas de zonas facilmente erodíveis até camadas mais estáveis, ancorar estruturas sujeitas a empuxos ou esforços de tombamento e formar uma estrutura de contenção, quando

executadas em grupo. A Figura 4 apresenta um esquema ilustrativo do funcionamento de uma fundação profunda do tipo estaca.

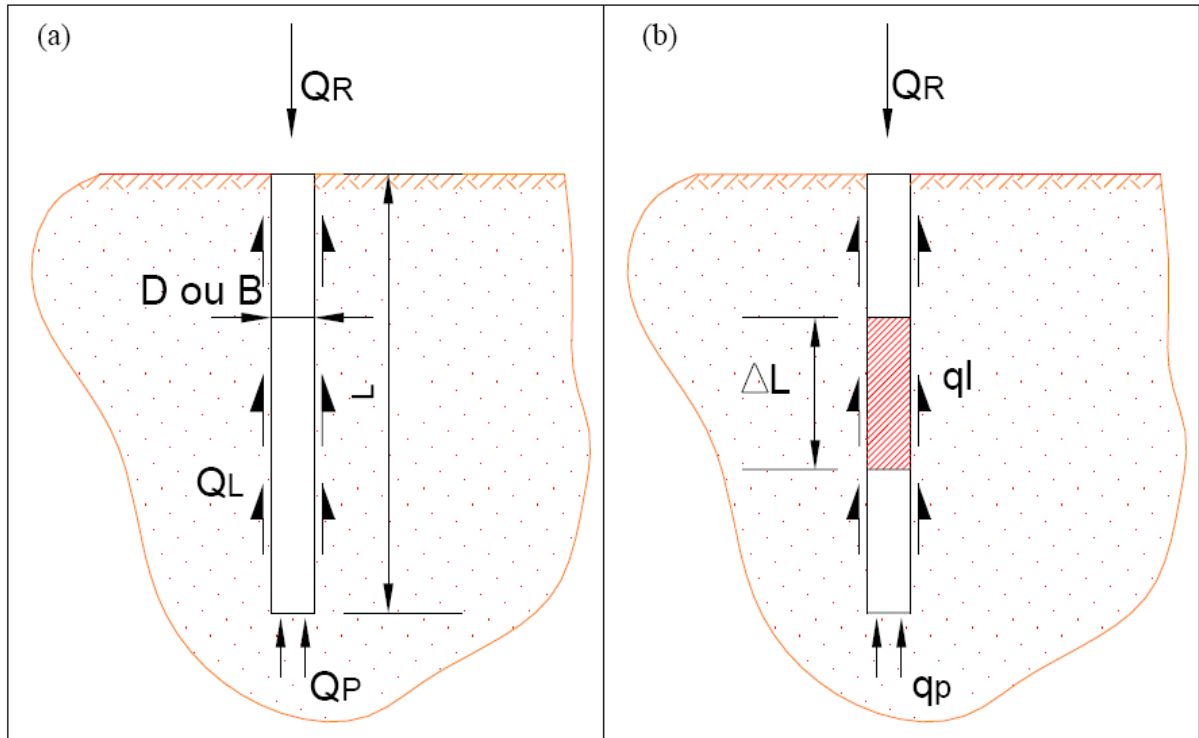


Figura 4 – Esquema da capacidade de carga de fuste e ponta da estaca. Figura (a) parcelas totais. Figura (b) parcelas unitárias (NIENOV, 2006).

A capacidade de carga de uma estaca pode ser decomposta em duas parcelas: uma resistência de ponta ou base e uma resistência lateral ou de atrito, conforme ilustrado na Figura 4 e apresentado na equação a seguir:

$$Q_R = Q_L + Q_P$$

Sendo:

Q_R : resistência total à compressão

Q_L : resistência lateral

Q_P : resistência de ponta

Assim:

$$Q_L = q_L \cdot A_L$$

$$Q_P = q_P \cdot A_P$$

Sendo:

Q_L : resistência lateral;

Q_p : resistência de ponta;

q_L : resistência lateral unitária;

q_p : resistência de ponta unitária;

A_L : área da superfície lateral da estaca;

A_p : área da base da estaca;

ΔL : espessura de camada.

3.4.2. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS ESTACAS

3.4.2.1. PONTOS RELEVANTES

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 1996), para o projeto e a execução de fundações, as investigações geotécnicas de campo e laboratório devem ser acompanhadas pelo projetista. Sondagens de simples reconhecimento à percussão são indispensáveis e sempre que o vulto da obra exigir serão necessários ensaios geotécnicos especiais (geofísicos, amostras indeformadas, Vane-Test etc.).

A monitoração das obras com instrumentação é muito importante para avaliação do desempenho. A observação do comportamento de uma obra compreende 03 tipos de informações:

- Deslocamentos (horizontais e verticais);
- Carregamentos atuantes e sua evolução no tempo;
- Registro de anormalidades (fissuras, abertura de juntas etc.).

O fator de segurança global para a capacidade de carga de estacas e tubulões é 2,0. Em estacas e tubulões, o fator de segurança pode ser reduzido para 1,6, caso se faça prova de carga antes do início da obra. As limitações das pressões básicas indicadas na Tabela 4 da NBR 6122 (ABNT, 1996) devem ser observadas para se ter uma orientação inicial.

Para fundações profundas a carga admissível do ponto de vista geotécnico é diferente da carga admissível do ponto de vista estrutural. O f_{ck} (resistência característica à compressão do concreto) máximo para o dimensionamento estrutural é 20 MPa, mas o γ_c (coeficiente de minoração da resistência) é diferente para cada tipo de estaca, em função do método de concretagem.

3.4.2.2. PROVA DE CARGA

No Brasil, poucas obras de engenharia geotécnica adotam provas de carga como critério de projeto, por questões de custos e prazos envolvidos. Mas pode-se afirmar que a complexidade dos mecanismos de transferência de carga da estaca, as alterações das condições iniciais causadas pela execução do elemento de fundação e a heterogeneidade dos solos justificam a utilização de provas de carga, considerada a forma mais correta, eficiente e confiável na avaliação do comportamento da curva carga x recalque e determinação da carga de ruptura de estacas (ALBUQUERQUE et al.; 2004 apud MELO, 2009).

A NBR 12131 (ABNT, 2006) especifica o método de prova de carga em estacas, visando fornecer elementos para avaliar o comportamento da curva carga x recalque e estimar suas características de capacidade de carga.

A prova de carga consiste basicamente em aplicar esforços estáticos crescentes à estaca e registrar os deslocamentos correspondentes. Os esforços aplicados podem ser axiais de tração ou compressão, ou transversais.

Esta norma se aplica a todos os tipos de estacas, verticais ou inclinadas, independente do processo de execução e de instalação no terreno, inclusive a tubulões, que a elas se assemelham.

Na execução da prova de carga, a estaca é carregada até a ruptura ou, ao menos até duas vezes o valor previsto para sua carga de trabalho. O ensaio pode ser realizado:

- com carregamento lento; ou
- com carregamento rápido; ou
- com carregamento misto (lento seguido de rápido); ou
- com carregamento cíclico, lento ou rápido, para estacas submetidas a esforços axiais de compressão.

As deformações correspondentes a estes tipos de ensaios podem ser diferentes e sua interpretação deve considerar o tipo de carregamento empregado.

Os ensaios de prova de carga realizados neste trabalho foram do tipo rápido (QML – Quick Mainteined Load). Este ensaio é identificado como “ensaio com carregamento rápido” pela NBR 12131 (ABNT, 2006). Baseia-se em incrementos iguais e sucessivos, não superiores a 10% da carga de trabalho prevista para a estaca ensaiada. Realizado em estágios de 10 minutos, independente da estabilização dos deslocamentos, exceto em fundações de linhas de transmissão, no qual esse tempo pode ser reduzido para 5 min.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

CAPÍTULO IV

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A seguir, serão descritos os materiais, os equipamentos e os métodos experimentais empregados para o desenvolvimento deste trabalho.

4.1. MATERIAIS

O presente trabalho tratou do estudo da utilização de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) na composição do concreto, em substituição ao agregado miúdo natural, para a confecção de estacas moldadas *in loco*. Desta forma, foram utilizados os seguintes materiais de consumo:

- ✓ Agregado miúdo natural (Areia)
- ✓ Agregado graúdo (Brita)
- ✓ Cimento
- ✓ Água de Amassamento
- ✓ Aditivo Superplastificante
- ✓ Agregado miúdo artificial (RCV)

Com exceção do aditivo superplastificante, todos os materiais foram caracterizados no Laboratório CESP de Engenharia Civil em Ilha Solteira por meio de ensaios normatizados. Já a caracterização do aditivo foi fornecida pelo próprio fabricante.

4.1.1. AGREGADO MIÚDO NATURAL (AREIA)

O agregado miúdo natural utilizado no trabalho foi proveniente do Porto de Areia Brambilla, localizado à margem do Rio Tietê, na cidade de Pereira Barreto – SP. Realizou-se a caracterização deste agregado miúdo segundo as normas da ABNT. A Tabela 2 apresenta resultados dos ensaios de caracterização e a Tabela 3 e a Figura 5, a distribuição granulométrica do material. A Figura 6 ilustra uma amostra do agregado miúdo natural, já ensaiado.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo natural.

ϕ máximo (mm)	Módulo de Finura	Massa Específica			Massa Unitária		Absorção (%)	Pulverulento (%)	Matéria Orgânica
		S.S.S. (g/cm ³)	Seca (g/cm ³)	Aparente (g/cm ³)	Solta (g/cm ³)	4% de Umidade (g/cm ³)			
1,18	1,87	2,619	2,629	2,613	1,487	1,107	0,24	0,26	+ Clara

Tabela 3 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo natural.

Abertura (mm)	0,075	0,15	0,3	0,6	1,18	2,36	4,75	6,3	9,5
% Retida Acumulada	100,0	97,6	70,7	12,7	4,5	1,5	0,4	0,2	0,0

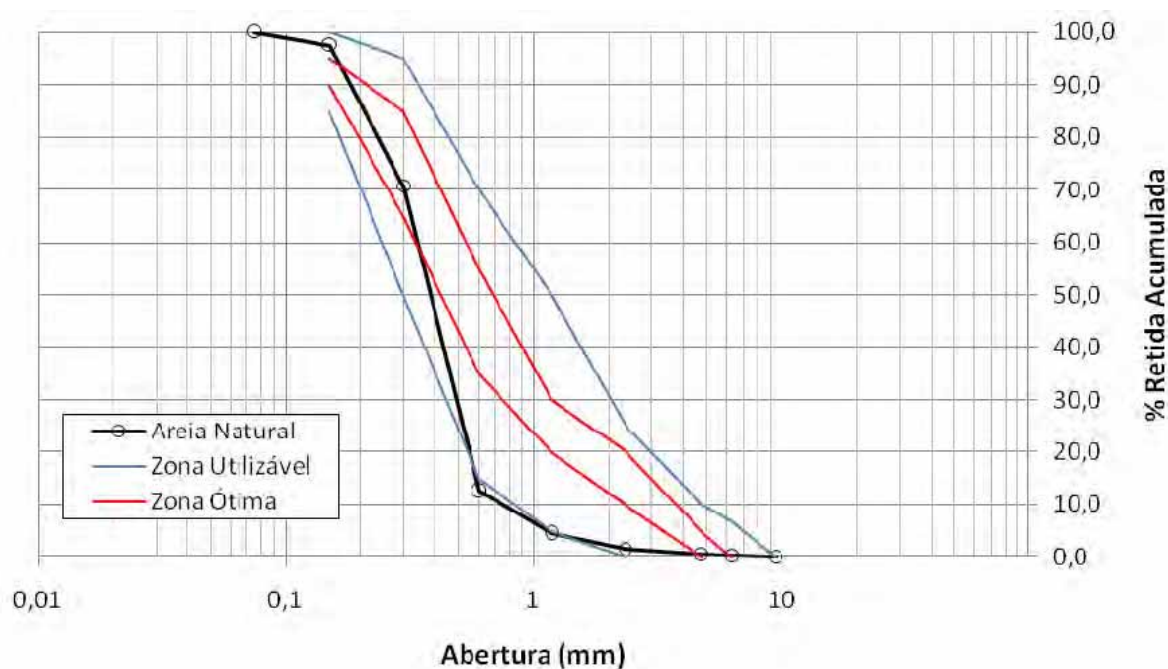


Figura 5 – Gráfico da distribuição granulométrica do agregado miúdo natural.



Figura 6 – Agregado miúdo natural.

Os ensaios foram realizados conforme as normas brasileiras e estão descritos a seguir.

- ✓ NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios (ABNT, 2006);
- ✓ NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água (ABNT, 2001);
- ✓ NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem (ABNT, 2003);
- ✓ NBR NM 49: Agregado fino – Determinação de impurezas orgânicas (ABNT, 2001);
- ✓ NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2003);
- ✓ NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003);
- ✓ NBR 9776: Agregados: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman (ABNT, 1987);
- ✓ NBR 7218: Agregados: Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (ABNT, 1987) - materiais pulverulentos.

4.1.2. AGREGADO GRAÚDO (BRITA)

O agregado graúdo utilizado no trabalho foi a brita 1 proveniente da Pedreira Três Fronteiras – SP. Os resultados da caracterização do material estão apresentados na Tabela 4. A Tabela 5 e a Figura 7 apresentam a distribuição granulométrica do material.

Tabela 4 – Caracterização do agregado graúdo.

φ máximo (mm)	Módulo de Finura	Massa Específica			Massa Unitária (g/cm³)	Absorção (%)	Pulverulento (%)
		S.S.S. (g/cm³)	Seca (g/cm³)	Aparente (g/cm³)			
25	7,15	2,929	2,888	3,011	1,616	1,42	0,55

Tabela 5 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo.

Abertura (mm)	0,15	0,3	0,6	1,18	2,36	4,75	6,3	9,5	12,5	19	25
% Retida Acumulada	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	99,7	99,4	96,4	15,4	0,5

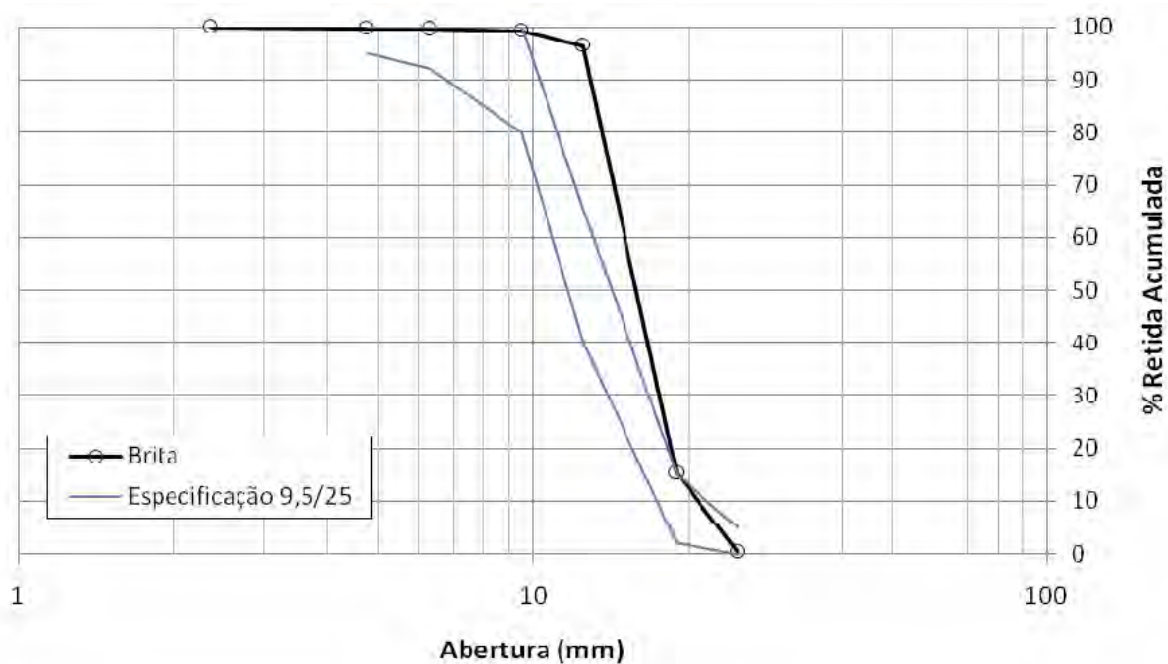


Figura 7 – Gráfico da distribuição granulométrica do agregado graúdo.

Os ensaios de caracterização para esse material foram realizados conforme as normas preconizadas para este tipo de agregado e estas estão descritas a seguir. A Figura 8 ilustra uma amostra o agregado graúdo.

- ✓ NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003);
- ✓ NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2003);
- ✓ NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios (ABNT, 2006);
- ✓ NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem (ABNT, 2003).



Figura 8 – Agregado graúdo (brita 1).

4.1.3. CIMENTO

O cimento utilizado foi o CP II - Z - 32 (Cimento Portland composto por 6 a 14% de pozolana). Por se tratar de um cimento bastante utilizado na região Noroeste do Estado de São Paulo e facilmente encontrado no comércio, optou-se por usar este tipo de cimento.

Foram feitos ensaios de caracterização do material e os resultados obtidos se encontram descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Caracterização do cimento CP II – Z – 32.

Ensaio Realizado			Valores Obtidos	NBR 11578 / NBR 5737	
				mínimo	máximo
Finura Peneira 200 (% retida)			0,53	-	12,0
Finura Peneira 325 (% retida)			4,60	-	-
Superfície específica Blaine (cm ² /g)			3755	2600	-
Densidade aparente (g/cm ³)			1,09	-	-
Densidade absoluta (g/cm ³)			3,11	-	-
Água de consistência da pasta	Gramas		139	-	-
	(%)		27,80	-	-
Início de pega (h : min)			02:58	01:00	-
Fim de pega (h : min)			04:28	-	10:00
Expansão em autoclave (%)			3,695	-	0,8*
Resistência à Compressão Axial	Consistência da argamassa	Gramas	150	-	-
		a / c	0,48	-	-
	Data de moldagem		04.08.2008	-	-
	Tensão (MPa)	03 dias	19,2	10,0	-
		07 dias	23,4	20,0	-
		28 dias	32,2	32,0	-
Análise Química (%)	Perda ao fogo		6,00	-	6,5
	Insolúveis		9,88	-	16,0
			20,13	-	-
			2,75	-	-
			4,18	-	-
	CaO		57,89	-	-
	MgO		5,97	-	6,5
			2,12	-	4,0
			0,15	-	-
			0,88	-	-
	Equivalente Alcalino		0,72	-	-
	Cal livre em CaO		2,72	-	-

* Ensaio não especificado pela ABNT

4.1.4. ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água utilizada no preparo dos traços de concreto é potável e proveniente da rede de abastecimento público da cidade de Ilha Solteira – SP.

4.1.5. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

O aditivo utilizado na confecção dos traços de concreto foi o VISCOCRETE 3535 CB, à base de policarboxilato, por ser um redutor de água de altíssima eficiência. Com coloração castanha clara, atua por diferentes mecanismos, através dos efeitos de absorção superficial e separação das partículas de cimento no processo de hidratação. É compatível com vários tipos de cimento e pode ser usado juntamente com outros tipos de aditivos, desde que se faça um estudo prévio de compatibilidade.

Para concretos plásticos a quantia especificada pelo fabricante é de 0,5 a 1,0% sobre o peso do cimento. Já para concretos fluidos e concretos de alto-desempenho, é de 1,1 a 1,5%. Se utilizado na dosagem ideal, as propriedades obtidas poderão ser:

- ✓ Redução de água, resultando em altas resistências à compressão;
- ✓ Fluidez, resultando em grandes reduções nos custos de lançamento e adensamento do concreto;
- ✓ Redução de retrações e fissuras no concreto;
- ✓ Redução ou eliminação de cura a vapor;
- ✓ Redução da taxa de carbonatação do concreto;
- ✓ Concreto fluido com mínimo fator a/c (água/cimento) sem segregação e exsudação;
- ✓ Melhoramento da aderência e textura da superfície do concreto;
- ✓ Aumento do módulo de elasticidade; e
- ✓ Aumento da impermeabilidade e durabilidade do concreto.

Segundo o fabricante, o VISCOCRETE 3535 CB deve ser adicionado na água de amassamento ou diretamente na mistura de concreto fresco. Nunca deve ser adicionado com os componentes secos do concreto (cimento e agregado). Para um melhor desempenho, recomenda-se um tempo de mistura de mínimo de 3 minutos. A adição da água para o acerto da consistência só deverá ser efetuada depois de decorridos 2/3 do tempo de mistura especificado, de forma a evitar a adição em excesso de água. Este tempo poderá variar em função do tipo de equipamento a ser utilizado.

4.1.6. AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL (RCV)

O resíduo de cerâmica vermelha foi proveniente da Cerâmica Jomina, que está localizada na cidade de Castilho- SP, Noroeste do Estado de São Paulo. Esta é uma fábrica de artefatos em cerâmica, que forneceu seu resíduo, que é composto por peças defeituosas, em geral descartadas no controle de qualidade.

Inicialmente o resíduo encontrava-se em pedaços de tamanhos variados, fragmentos de telhas e blocos cerâmicos. Em seguida o material foi triturado no britador de facas do LCEC em diâmetro inferior a 4,75 mm. A Figura 9 mostra o triturador usado neste trabalho. A Figura 10 ilustra uma amostra do material cerâmico triturado.



Figura 9 – Britador de facas do Laboratório CESP de Engenharia Civil.



Figura 10 – Agregado miúdo artificial (cerâmica vermelha) triturado.

Após o beneficiamento e escolha da melhor granulometria, o agregado miúdo artificial de cerâmica foi submetido aos mesmos ensaios de caracterização aplicados ao agregado miúdo natural, conforme as normas técnicas brasileiras já citadas. Na Tabela 7 são apresentados os valores obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo artificial. Já a Tabela 8 e a Figura 11 mostram a distribuição granulométrica.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de caracterização do resíduo cerâmico.

ϕ Máx (mm)	Módulo de Finura	Massa Específica			Massa Unitária		Absorção (%)	Pulverulento (%)	Matéria Orgânica
		S.S.S. (g/cm ³)	Seca (g/cm ³)	Aparente (g/cm ³)	Solta (g/cm ³)	4% de Umidade (g/cm ³)			
2,36	2,15	2,181	2,596	1,922	1,056	1,077	13,5	15,02	-

Tabela 8 – Distribuição granulométrica do resíduo cerâmico.

Abertura (mm)	0,075	0,15	0,3	0,6	1,18	2,36	4,75	6,3	9,5
% Retida Acumulada	100,0	77,2	62,7	46,5	24,3	4,7	0,0	0,0	0,0

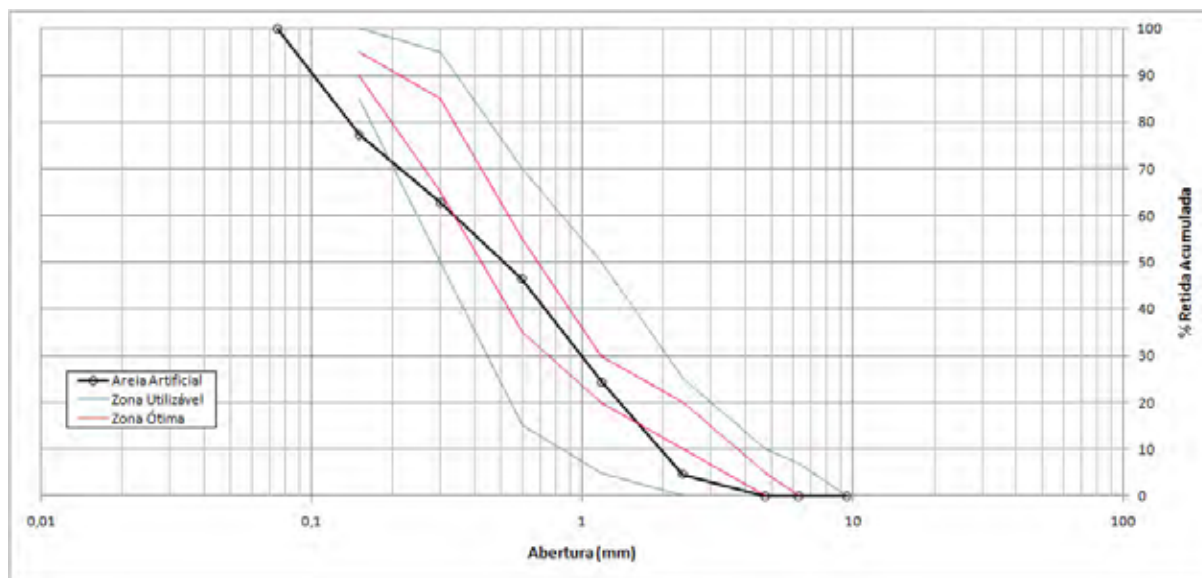


Figura 11 – Gráfico da distribuição granulométrica do resíduo cerâmico.

A avaliação da atividade pozolânica seguiu as diretrizes e o método de ensaio descrito na norma brasileira NBR 5752 (ABNT, 1992) - “Materiais Pozolânicos: Determinação da Atividade Pozolânica – Índice de Atividade Pozolânica com Cimento Portland”. A norma

afere o índice de atividade pozolânica (IAP) de uma adição mineral com cimento Portland. O IAP é a relação entre os valores de resistência à compressão de uma argamassa com 65% de cimento e 35% de pozolana e de uma argamassa de referência (100% de cimento como aglomerante).

O material utilizado para a realização do ensaio foi obtido a partir da britagem do resíduo cerâmico utilizado no desenvolvimento deste trabalho, que foi posteriormente peneirado na peneira de abertura # 0,075 mm. Na Tabela 9 encontram-se os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 9 – Atividade pozolânica.

	Traço Controle (padrão)	Traço Ensaiado
Quantidade de Água (g)	161	191
Resistência aos 28 dias (MPa)	32,4	15,6

No ensaio de atividade pozolânica (atividade com cimento) foi confeccionada uma argamassa padrão (1:3) e um traço de argamassa com emprego de material pozolânico (RCV) em substituição a um percentual do cimento empregado na composição da mistura. Foram moldados 3 corpos-de-prova de 5x10 cm² para cada traço e realizado o ensaio de ruptura na idade de 28 dias. A partir destes resultados foi calculado o índice de atividade pozolânica (IAP) com cimento, segundo a expressão a seguir:

$$\text{IAP} = (\text{Resistência aos 28 dias de Ensaio} / \text{Resistência aos 28 dias padrão}) \times 100$$

Para o ensaio realizado com RCV, o IAP resultante foi de aproximadamente 48,15%.

4.2. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

4.2.1. ESTUDO DE DOSAGEM

Segundo Bavaresco (2001), a dosagem de um concreto é a determinação, por meio de algum método, do traço com o qual se espera obter as propriedades requeridas do concreto nos estados fresco e endurecido.

Helene e Terzian (1992) entendem por estudo de dosagem do concreto, os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais que compõem o concreto, também conhecido por traço do concreto. Esta proporção ideal dos materiais constitutivos do concreto pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais.

Neste trabalho, o estudo de dosagem foi feito com base no método do IPT/EPUSP (Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) (HELENE; TERZIAN, 1992). Este método de dosagem parte primeiramente de uma avaliação com mistura em betoneira do traço 1:m (cimento:agregados secos totais, em massa).

O processo tem início na determinação do teor de argamassa para o traço inicial, que é determinante para a adequabilidade do concreto no processo de moldagem. Algumas características e propriedades do concreto devem ser definidas já nesta etapa, como por exemplo, a trabalhabilidade do concreto fresco. As quantidades de materiais necessárias para a mistura na betoneira, correspondentes a cada teor de argamassa adotado, são fornecidas por meio de tabelas.

Com o teor de argamassa definido, realiza-se a moldagem do traço 1:m com a finalidade de se determinar todas as características do concreto no estado fresco: relação a/c (água/cimento), consumo de cimento e de água por metro cúbico de concreto, massa específica e abatimento no tronco de cone.

Na próxima etapa do estudo de dosagem são moldados mais dois traços auxiliares (um mais rico e outro mais pobre em quantidades de cimento), possibilitando uma posterior análise do modelo de comportamento do concreto. Para a moldagem dos novos traços auxiliares, mantêm-se fixos o teor de argamassa e o abatimento do tronco de cone obtidos para a mistura 1:m inicial, determinando-se a relação a/c necessária para se conseguir a mesma consistência obtida para o traço intermediário. Em seguida determina-se, para cada traço, a massa específica do concreto fresco e moldam-se os corpos-de-prova.

Com os dados obtidos (relação a/c, abatimento do tronco de cone, resistência à compressão axial aos 7, 14 e 28 dias, e consumo de cimento por metro cúbico de concreto) nas três misturas ensaiadas (traços intermediário, rico e pobre), obtém-se o modelo de comportamento do concreto através do diagrama de dosagem.

APLICAÇÃO DO MÉTODO

Com base no método de dosagem do IPT/EPUSP foi realizado o estudo de dosagem de concreto desta pesquisa.

Inicialmente estabeleceu-se um teor ideal de argamassa seca de 53% para o traço intermediário 1:8. Em seguida, com as quantidades de materiais já estabelecidas, o traço foi moldado com o auxílio de uma betoneira de eixo vertical. Logo após, verificaram-se as características do concreto no estado fresco. A Figura 12 mostra o aspecto visual do traço intermediário do concreto fresco. A trabalhabilidade requerida foi de 170 ± 20 mm, que foi controlada pelo ensaio no tronco de cone (*slump test*). Este valor foi estimado para se trabalhar com concreto plástico para ser lançado em fundações apiloadas de 4,5 m de profundidade e o mesmo ser adensado sem o auxílio de vibração. As outras características do traço intermediário, bem como dos traços rico e pobre, encontram-se descritos na Tabela 10.

Com o mesmo teor de argamassa e abatimento do tronco de cone aproximado, moldaram-se os dois traços auxiliares (rico e pobre). O aditivo superplastificante foi usado para se obter o alto valor do abatimento. Foram moldados 9 corpos-de-prova por traço, três para cada idade de ruptura, aos 7, 14 e 28 dias. Os resultados obtidos encontram-se descritos na Tabela 10.

Tabela 10 – Dados do estudo de dosagem; traços rico, intermediário e pobre.

Traços para Estudo de Dosagem				
Traço 1:m		6,0	8,0	10,0
Dados da Dosagem	Teor de argamassa (%)	53	53	53
	Consumo de aglomerante (kg/m ³)	360,9	279,0	226,3
	Consumo de água (kg/m ³)	170	175	182
	Consumo de Areia (kg/m ³)	826	889	923
	Consumo de brita (kg/m ³)	1122	1115	1105
	Relação a/c (kg/kg)	0,471	0,627	0,804
	Consumo de Superplastificante (% sobre a massa de cimento)	0,4	0,4	0,4
Propriedades do Concreto Fresco	Slump (cm)	18,6	17,3	18,7
	Temperatura (°C)	24,4	23,6	24,1
	Ar incorporado (%)	9,3	-	-
	Densidade aparente (t/m ³)	2,353	2,315	2,259
Propriedades do Concreto Endurecido	Resistência aos 7 dias (MPa)	18,1	12,6	7,1
	Resistência aos 14 dias (MPa)	22,9	16,3	8,7
	Resistência aos 28 dias (MPa)	23,9	16,5	8,9

Com os dados obtidos de abatimento, relação a/c, resistência à compressão e consumo de cimento por metro cúbico, traçou-se o diagrama de dosagem do concreto apresentado na Figura 13.



Figura 12 – Aspecto visual do traço intermediário (1:8) do estudo de dosagem.

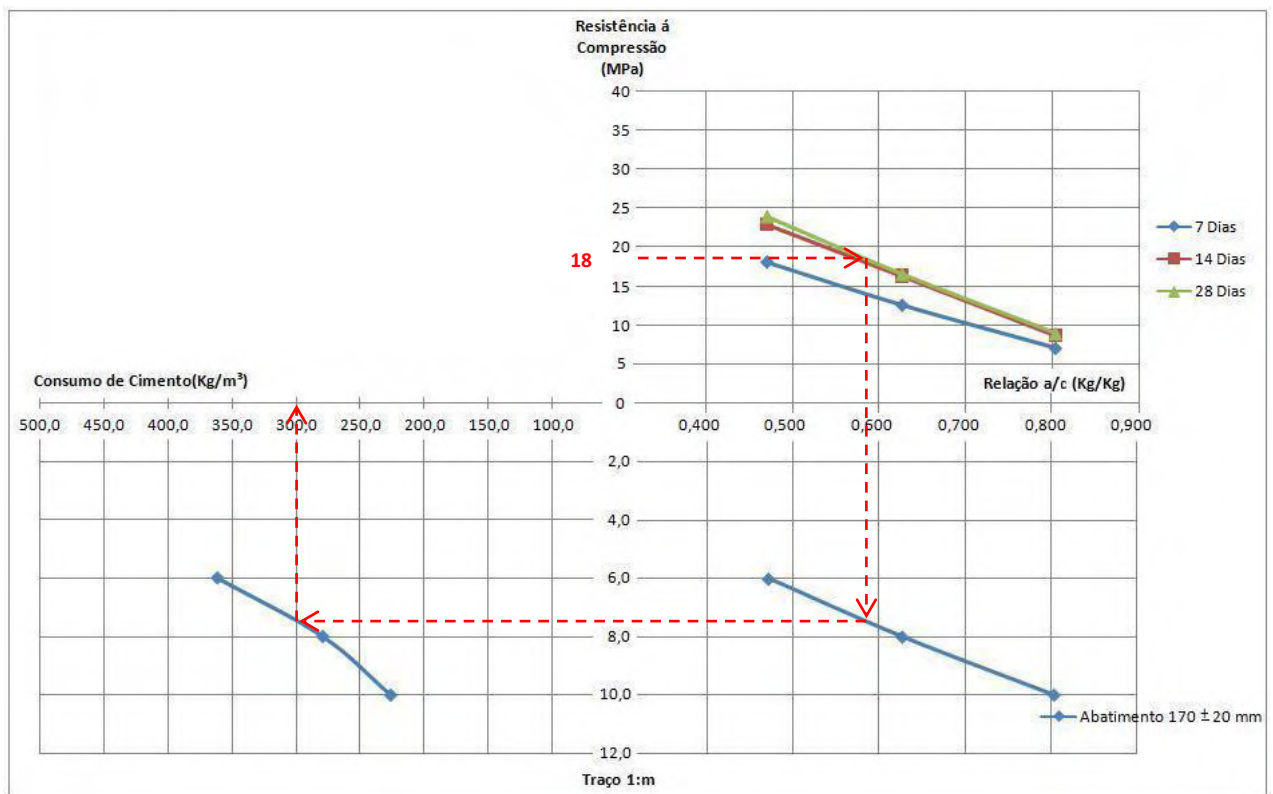


Figura 13 – Diagrama de dosagem, segundo o método proposto por Helene e Terzian (1992).

A Figura 14 mostra o gráfico com as resistências do concreto aos 7, 14 e 28 dias obtidas no estudo de dosagem.

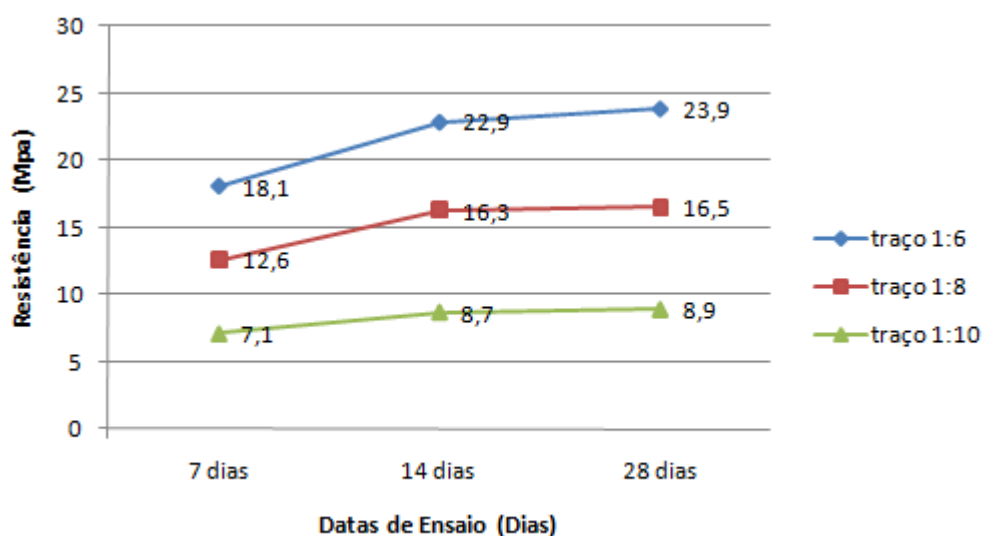


Figura 14 – Estudo de Dosagem: Resistências dos concretos aos 7, 14 e 28 dias.

A Figura 15 mostra as diferentes colorações dos corpos-de-prova feitos para o estudo de dosagem. O traço mais rico (1:6) apresentou-se mais claro, pois a quantidade de cimento em massa é maior que nos outros traços.



Figura 15 – Corpos-de-prova moldados para o estudo de dosagem - traços 1:10, 1:8 e 1:6.

O traço padrão foi obtido mediante as curvas de tendência do diagrama da Figura 13, com as características do concreto já definidas, a partir da resistência característica do concreto definida para estacas que, segundo a NBR 6122 (ABNT, 1996), deve ser de $f_{ck}=18$ MPa. A Tabela 11 apresenta dados referentes à dosagem do traço padrão e as respectivas propriedades deste concreto no estado fresco.

Tabela 11 – Dados referentes ao traço padrão.

TRAÇO 1:m		1: 7,29
Dados da dosagem	Teor de Argamassa (%)	53
	Consumo de cimento (kg/m^3)	304,5
	Consumo de água (kg/m^3)	175,0
	Consumo de areia (%)	46,55
	Consumo de brita (%)	53,45
	Relação a/c (kg/kg)	0,575
	Consumo de aditivo Superplastificante (% sobre a massa de cimento)	0,4
Propriedades do Concreto Fresco	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	25,9
	Ar Incorporado (%)	8,9
	Densidade Aparente (t/m^3)	2,294

De posse dos dados referentes ao traço padrão, foram moldados 3 corpos-de-prova para cada uma das idades de cura, ou seja, 7, 28, 56 e 120 dias, nas se realizaram os ensaios para a obtenção da resistência à compressão axial e do módulo de elasticidade.

4.2.2. SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR CERÂMICA

A partir dos resultados dos ensaios com o concreto padrão, foram feitas as substituições em massa, do agregado miúdo natural pelo RCV nas quantidades de 20%, 40%, 60% e 80%. Estes traços foram ensaiados visando a obtenção de um teor ótimo de substituição, com o qual foram confeccionadas estacas apiloadas de comprimento $L = 4,5$ m e mini-estacas de $L = 1,0$ m. A Figura 16 mostra as diferentes colorações dos corpos-de-prova confeccionados com os RCV, que vão de 0% (concreto padrão) a 80% de substituição, respectivamente.



Figura 16 – Coloração dos corpos-de-prova com os diferentes teores de substituição.

4.2.3. ENSAIOS APLICADOS AO CONCRETO

Tanto no estudo de dosagem quanto nos traços com as substituições, os concretos foram submetidos aos ensaios listados abaixo:

- ✓ Abatimento do tronco de cone;
- ✓ Determinação do ar incorporado;
- ✓ Massa específica;
- ✓ Resistência à compressão;
- ✓ Módulo de elasticidade.

Esses ensaios tiveram por objetivo primordial a verificação da aplicabilidade do resíduo cerâmico na confecção de concreto estrutural para a utilização em estacas moldadas *in loco*.

4.2.3.1. ENSAIOS EM CONCRETO FRESCO

TRONCO DE CONE (SLUMP TEST)

Conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), foram verificadas as consistências dos concretos. O abatimento fixado foi de 170 ± 20 mm para os traços, pois a principal característica destes concretos era a alta plasticidade, para que o concreto fosse apenas lançado, na confecção das estacas, sem a necessidade de vibração. A Figura 17 mostra o momento da realização de um dos ensaios.



Figura 17 – Ensaio de abatimento (*Slump Test*).

INCORPORAÇÃO DE AR

Para determinar a quantidade de ar incorporado ao concreto fresco, segundo a NBR NM 47 (ABNT, 2002), utilizou-se um aparelho medidor, do tipo de pressão. A Figura 18 mostra o aparelho no processo de medição.



Figuras 18 – Aparelho (de pressão) que mede a quantidade de ar incorporado.

MASSA ESPECÍFICA

De acordo com a NBR 9833 (ABNT, 1987), foi realizado o ensaio de massa específica que se utiliza de uma balança e um recipiente metálico específico para este ensaio. A Figura 19 mostra a realização do ensaio.



Figura 19 – Determinação da massa específica.

A Tabela 12 apresenta os resultados dos ensaios com os concretos no estado fresco.

Tabela 12 – Resultados dos ensaios com concreto fresco.

TRAÇOS	AR INCORPORADO - Lb/in ² (%)	MASSA - Kg	TEMPERATURA - °C
PADRÃO	12,5 (8,9)	22,94	25,9
20% RESÍDUO	13,5 (7,3)	23,24	25,6
40% RESÍDUO	14,0 (6,6)	23,70	26,3
60% RESÍDUO	13,5 (7,3)	22,73	28,1
80% RESÍDUO	17,0 (2,9)	23,49	28,3

4.2.3.2. ENSAIOS EM CONCRETO ENDURECIDO

Após os ensaios com os concretos ainda frescos, três corpos-de-prova foram moldados (para cada idade) e, decorridas 24 horas, estes foram retirados das fôrmas e submetidos à cura em câmara úmida. As Figuras 20 e 21 mostram os corpos-de-prova moldados e em cura na câmara úmida.



Figura 20 - Moldagem dos corpos-de-prova.



Figura 21 – Câmara úmida.

A cada idade de ruptura (7, 28, 56 e 120 dias), três corpos-de-prova foram submetidos aos ensaios de compressão simples com determinação do módulo de elasticidade. Mas anteriormente a estes ensaios, os corpos-de-prova foram capeados com enxofre de alta resistência, como apresentado na Figura 22, a fim de tornar suas faces planas e paralelas, essenciais para a realização dos ensaios.



Figura 22 – Capeamento dos corpos-de-prova.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

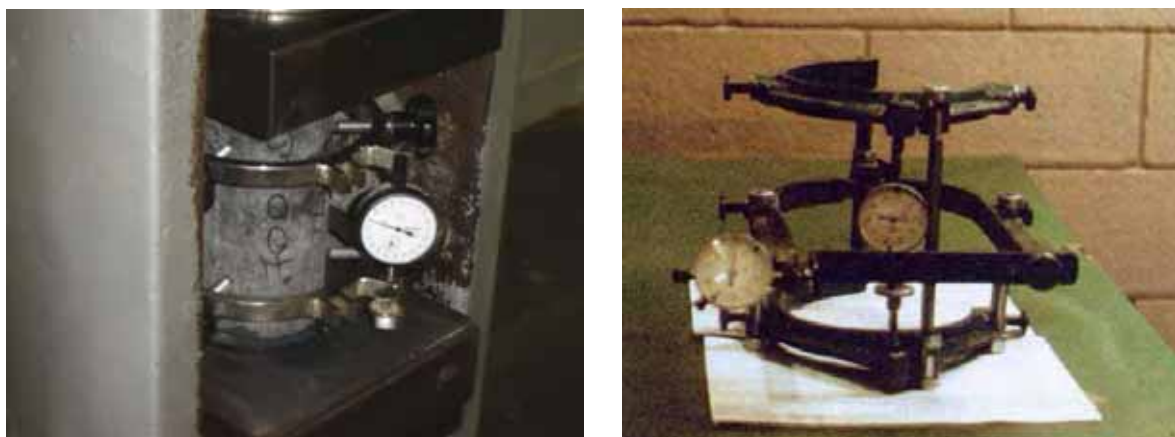
O ensaio de compressão simples foi realizado segundo a norma NBR 5739 (ABNT, 1994). As idades do ensaio, como já citadas anteriormente, foram de 7, 28, 56 e 120 dias, após a cura em câmara úmida. A Figura 23 mostra a prensa com capacidade de 100 toneladas força.



Figura 23 – Prensa para ensaios de compressão simples.

MÓDULO DE ELASTICIDADE

O módulo de elasticidade foi obtido aos 28 dias de idade para cada traço de substituição, atendendo às recomendações da NBR 8522 (ABNT, 2003). A Figura 24 mostra o equipamento utilizado na execução dos ensaios.



Figuras 24– Equipamento utilizado para a determinação do módulo de elasticidade.

4.2.3.3. ABSORÇÃO

Seguindo a NBR 9778 (ABNT, 1987), foi realizado ensaio de absorção por imersão, no Laboratório de Engenharia Civil da UNESP, em corpos-de-prova com traço padrão e com o teor de substituição de 40%. O concreto foi apenas lançado dentro das fôrmas, sem auxílio de vibração. Isto se deveu ao fato de que as estacas de campo também seriam feitas apenas com o concreto lançado. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 25 a seguir.

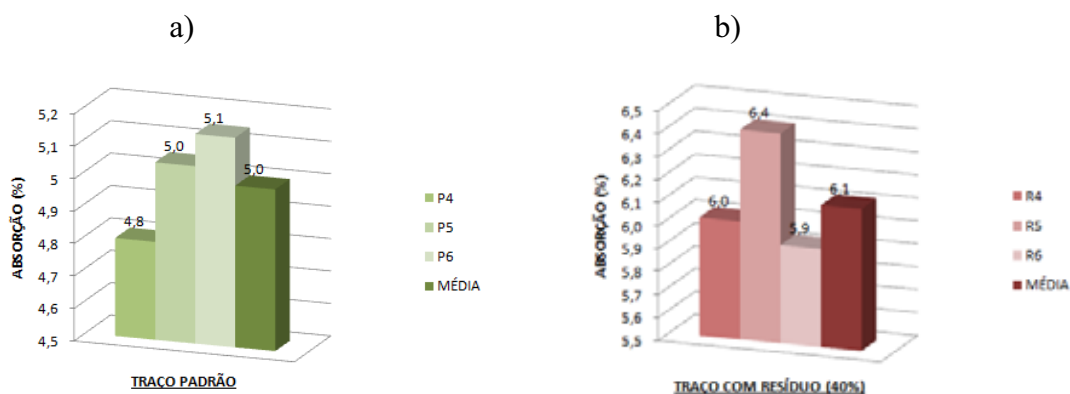


Figura 25 – Resultados de absorção (a) do traço padrão e (b) do traço com teor de substituição de 40%.

4.2.4. PROCESSOS DE CURA

Foram realizados processos de cura em câmara úmida e também em condições de campo. Na câmara úmida foram curados corpos-de-prova cilíndricos 10 x 20 cm² e para a cura em condições de campo foram confeccionadas três mini-estacas, as quais foram curadas no próprio local em que foram confeccionadas, ou seja, no Campo Experimental de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira. A idéia de se avaliar a cura em mini-estacas surgiu pelo fato de representarem uma boa simulação das condições reais de utilização em campo.

Três mini-estacas com 10 cm de diâmetro e 1,0 m de comprimento foram confeccionadas. A abertura no solo foi feita com um trado manual e logo após foi lançado o concreto com teor de substituição de 40%. O sistema de cura das mini-estacas foi o mesmo empregado nas condições de obra, ou seja, com molhagens sucessivas nos primeiros sete dias, seguida de pelo menos três molhagens após este período, até idade de 28 dias.

A confecção das mini-estacas foi importante para a obtenção de informações sobre a resistência do material ao longo do tempo até atingir 60 dias, tempo de cura das estacas apiloadas de 4,50 m. A cada idade de ruptura (7, 28 e 56 dias), uma mini-estaca era retirada do campo experimental e ensaiada. De cada mini-estaca, foram retiradas três amostras, as quais foram preparadas para ficar com dimensões finais de 10 x 20 cm², iguais às dos corpos-de-prova cilíndricos. Os ensaios de compressão simples foram realizados aos 7, 28 e 56 dias e os de módulo de elasticidade, aos 28 dias. As Figuras 26 e 27 apresentam as etapas de confecção das mini-estacas. A Figura 28 mostra as três mini-estacas já prontas no campo experimental. Uma das mini-estacas retiradas do campo é mostrada na Figura 29.



Figura 26 – Furo da mini-estaca realizado com trado manual de 10 cm.



Figura 27 – Conclusão da concretagem de uma mini-estaca.



Figura 28 – Cura das mini-estacas no campo experimental.



Figura 29 – Mini-estaca retirada do campo para ser ensaiada.

4.2.5. PROVA DE CARGA

Três estacas de concreto com 40% de resíduo foram confeccionadas ($L = 4,5$ m; $D = 0,2$ m) no Campo Experimental da UNESP de Ilha Solteira. Estas estacas foram submetidas a provas de cargas por meio de carregamento rápido, seguindo-se as prescrições da NBR 12131 (ABNT, 2006).

Provas de carga em estacas com essas mesmas dimensões, feitas com concreto simples (sem resíduos) foram executadas por Nacano (2001) neste mesmo Campo Experimental, propiciando uma análise comparativa entre os seus resultados e os obtidos neste trabalho.

4.2.5.1. MONTAGEM DO ENSAIO

Após as análises em laboratório, ensaios de caracterização dos materiais e estudo de dosagem, chegou-se a um teor de substituição ótimo de 40% de adição de resíduo. Com estes materiais, foram feitas três estacas de concreto com o teor de substituição ótimo de resíduo de cerâmica. A abertura dos furos foi feita com auxílio de um bate-estaca, utilizando-se um pilão com peso de 5,0 kN. As Figuras 30 e 31 mostram o processo de abertura de um dos furos e o equipamento utilizado.

Após o término da execução dos furos, antes de se iniciar a concretagem, foi colocado no fundo de cada furo um elemento de isopor com diâmetro também de 20 cm e espessura de 50 mm. O isopor foi colocado entre duas placas de madeira compensada de 2 cm de espessura e 20 cm de diâmetro. A função destas foi a de proteger o elemento de isopor durante o lançamento do concreto, que poderia danificá-lo. O objetivo da colocação deste elemento de isopor foi o de eliminar a resistência de ponta no início das provas de carga, obtendo-se assim leituras apenas do atrito lateral.



Figura 30 - Detalhe do pilão utilizado na confecção dos furos.



Figura 31 – Detalhe do início da abertura de um dos furos.

Após a abertura dos furos e colocação do isopor, iniciou-se o lançamento do concreto. Foram colocadas armaduras de espera com 1,0 m comprimento, formadas por quatro barras de 8,0 mm, para a fixação dos blocos de coroamento, com dimensões de 40 x 40 x 20 cm³.

A Figura 32 mostra detalhe do furo da estaca pronto.



Figura 32 – Detalhe do furo da estaca antes da concretagem.

As Figuras 33 e 34 mostram o momento final da concretagem de uma das estacas, já com as armaduras de espera devidamente colocadas na parte superior da estaca.



Figura 33 – Momento final da concretagem de uma das estacas.



Figura 34 – Estaca pronta com os ferros de espera.

Após sete os dias de cura, foram confeccionados os blocos de coroamento com $40 \times 40 \times 20 \text{ cm}^2$. A Figura 35 mostra a fôrma do bloco pronta para receber o concreto e a

Figura 36 mostra o momento da realização da concretagem de um dos blocos. A Figura 37 mostra o bloco já concluído.



Figura 35 – Fôrma do bloco antes da concretagem.



Figura 36 – Concretagem de um dos blocos.



Figura 37 – Conclusão da execução de um dos blocos.

Na realização das provas de carga, o sistema de reação utilizado foi o do tipo ação-reação, sendo que a aplicação da carga foi feita por intermédio de um conjunto macaco hidráulico e bomba, os quais foram instalados entre a viga de reação e o bloco de transição das estacas. A ancoragem entre a viga de reação e as estacas de reação foi feita por intermédio

de peças especiais - porcas, placas, luvas e tirantes *Dywidag* - em aço especial ST-85/105. As estacas foram ensaiadas após 60 dias de sua confecção. A Figura 38 mostra o esquema de ensaio utilizado na realização das provas de carga.

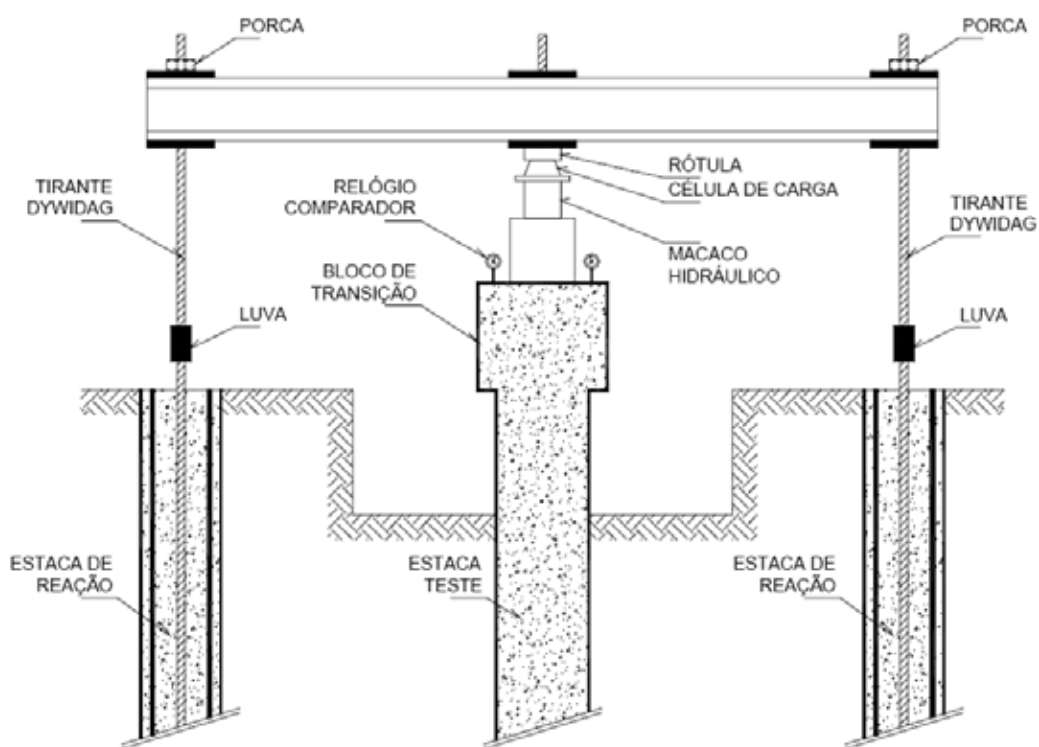


Figura 38 – Esquema de ensaio (prova de carga).

As Figuras 39 e 40 apresentam os detalhes da estaca de compressão (estaca teste) e da estaca de reação, respectivamente.

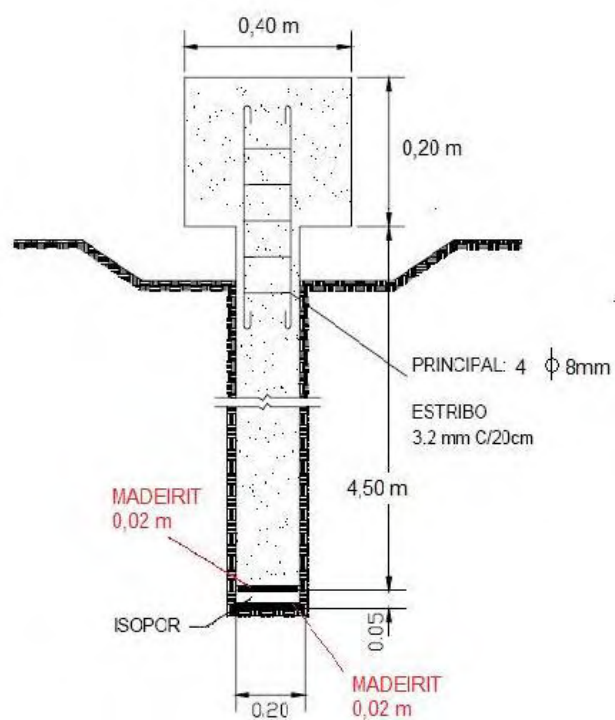


Figura 39 - Detalhe da estaca teste (estaca de compressão).

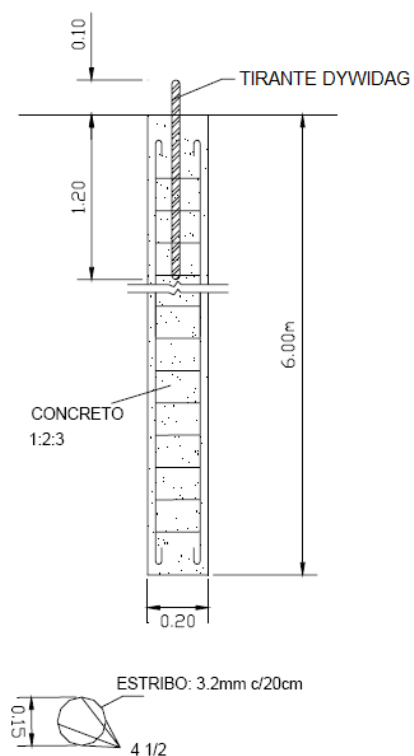


Figura 40 – Detalhe da estaca de reação.

A Figura 41 mostra o início dos ensaios, com a viga de reação apoiada nos cavaletes, fixada às estacas de reação por meio dos tirantes, porcas e luvas. A viga de reação tem como função fixar o macaco hidráulico. Desta forma possibilita movimentos do mesmo no sentido vertical, permitindo com isto o carregamento da *estaca teste*. A viga de reação tem capacidade de carga em torno de 500 kN e é composta por duplo perfil em “I”, enrijecida com cinco placas de aço nas faces superior e inferior.



Figura 41 – Início do ensaio; equipamentos e viga de reação instalados para o ensaio.

Os carregamentos aplicados foram monitorados por meio de uma célula de carga ligada a um indicador de deformação, como mostra a Figura 42. O macaco hidráulico foi calibrado previamente com o indicador de deformação.

O sistema de referência foi composto por dois perfis metálicos “I”, com 10 cm de alma e 5 cm de abas, dispostos um de cada lado do bloco de coroamento das estacas, devidamente bi-apoiados e afastados das estacas ensaiadas. A Figura 42 mostra a montagem do ensaio, bem como a disposição do sistema de referência.



Figura 42 – Montagem da prova de carga.

A leitura dos recalques foi efetuada com utilização de quatro relógios comparadores analógicos, com curso de 50 mm e precisão de 0,01 mm. Os relógios foram instalados em posições diametralmente opostas, fixados ao sistema de referência por meio de bases magnéticas. As hastes de leitura foram apoiadas em placas de acrílico coladas no topo dos blocos, como se mostra em detalhes na Figura 43.

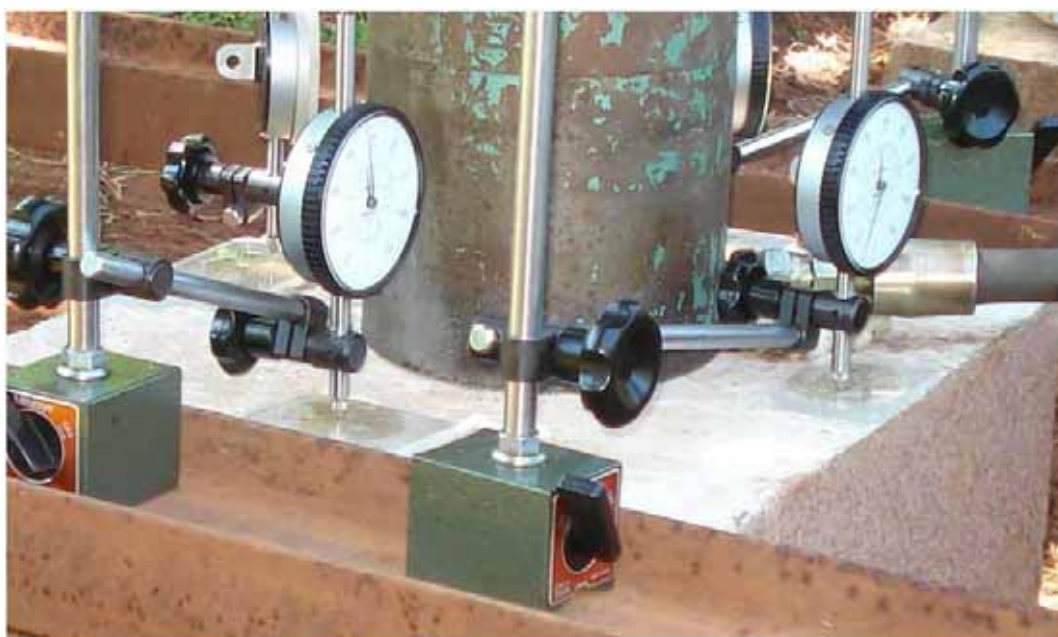


Figura 43 – Instalação dos relógios comparadores.

Para monitorar os estágios de carregamentos nas provas de carga foi utilizada uma célula de carga vazada com capacidade de 500 kN, devidamente calibrada. A Figura 44 mostra o posicionamento da célula de carga e da rótula. Efetuou-se o controle da aplicação dos carregamentos pelo indicador de deformação, que foi conectado a célula de carga.

Ao longo dos ensaios de prova de carga, foi utilizada uma rótula de aço especial ST-85/105, vazada, para manter a estabilidade do sistema e garantir que os carregamentos se mantivessem axiais. A Figura 44 apresenta a rótula inserida entre a viga de reação e a célula de carga.

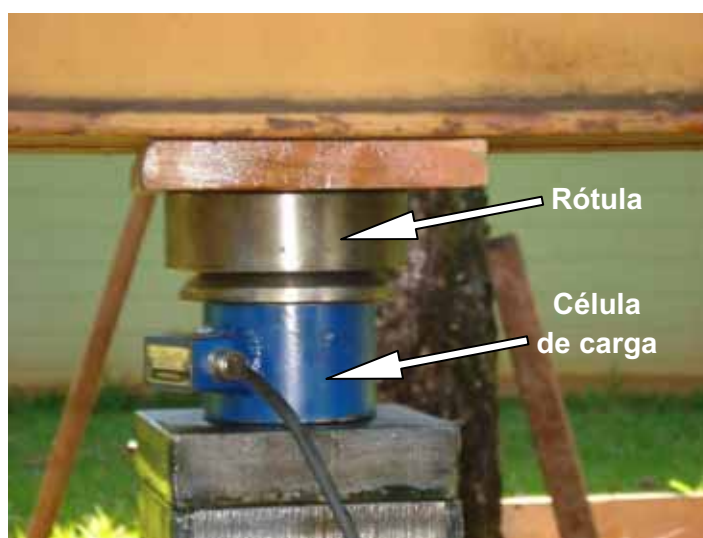


Figura 44 – Instalação da rótula e da célula de carga.

Nos estágios de carregamento das provas de carga foi feito um controle da aplicação das cargas através de um indicador de deformação. Através deste foi possível manter constante a pressão aplicada pelo macaco hidráulico sobre a estaca de teste no decorrer dos estágios de carregamento. A Figura 45 mostra o indicador de deformação utilizado nos ensaios.



Figura 45 – Indicador de deformações.

ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

CAPÍTULO V

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentadas as análises dos resultados dos ensaios de caracterização dos materiais, ensaios de laboratório e de campo. Também são apresentadas análises comparativas entre os resultados das provas de carga do tipo rápida (QML - Quick Maintained Load), segundo prescrições da NBR 12131 (ABNT, 2006), realizadas neste trabalho e os realizados por Nacano (2001), em solo com umidade natural.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

5.1.1. GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS

Apresenta-se na Figura 46 a distribuição granulométrica dos agregados (areia, brita e resíduo cerâmico). Observa-se que a areia (linha verde) se encontra dentro da zona utilizável do gráfico, mas fora da zona ótima. Isto ocorreu devido à presença de grande quantidade de material fino, sendo esta, portanto, considerada uma areia fina.

Já a brita (linha laranja) se encontra fora da zona ideal de especificação para brita 1. Nota-se que um grande percentual do material (cerca de 80%) ficou retido na peneira de 12,5 mm, indicando tratar-se de um material com granulometria mal distribuída.

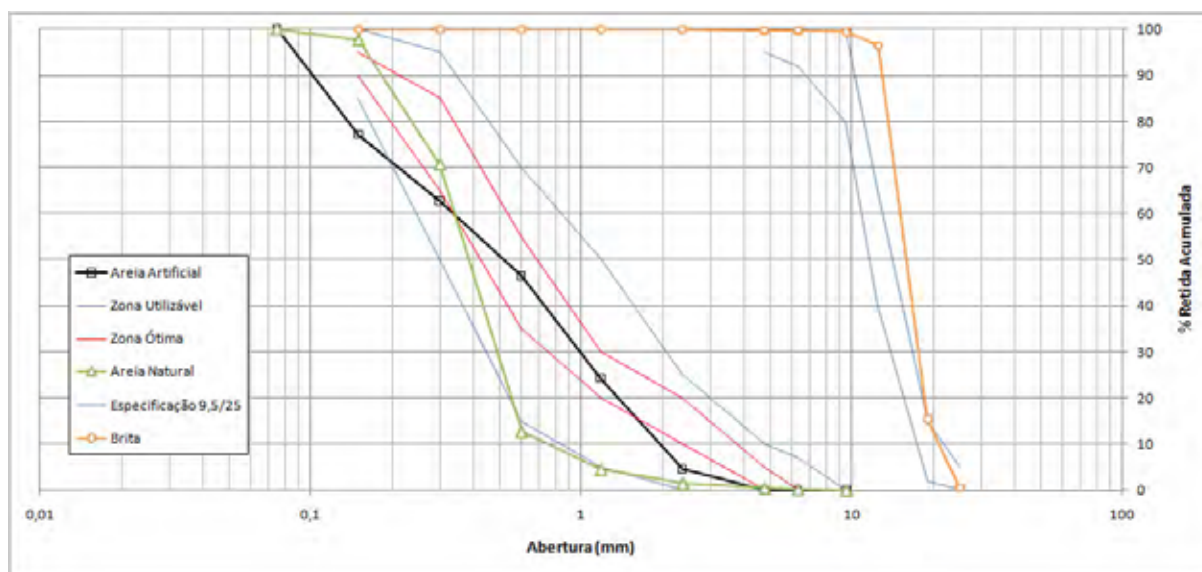


Figura 46 – Distribuição granulométrica dos agregados (areia, resíduo cerâmico e brita).

No início do processo de britagem, o objetivo era obter um agregado artificial com granulometria próxima da do agregado natural. Mas as características do agregado natural não eram as ideais, mas dentro das utilizáveis, como mostrou o gráfico acima. Assim, optou-se por um agregado que, substituindo o agregado natural em partes ou no total, apresentasse uma granulometria melhor distribuída, que estivesse dentro da faixa ótima do gráfico.

Para o resíduo cerâmico foram ensaiadas várias amostragens de material triturado até que se encontrasse uma granulometria adequada para substituir a areia. Como mostrado na Figura 46, a granulometria obtida para o RCV (linha preta) após várias britagens, está dentro da zona utilizável e parte está na zona ótima, como se esperava.

Nota-se que os materiais utilizados neste trabalho não são os ideais em termos de pesquisa, mas foram os encontrados no mercado da construção civil na região de Ilha Solteira - SP. A intenção deste trabalho foi a de se usar o resíduo de cerâmica no canteiro de obras, se possível, propiciando uma correção na granulometria do agregado miúdo. Desta forma, o uso destes materiais, mesmo não sendo os mais indicados, se fez imprescindível.

5.1.2. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

O avanço da construção civil e as necessidades construtivas atuais, como o prazo cada vez mais curto para a conclusão das obras, a qualidade e a durabilidade dos materiais construção, tudo isto fez com que o uso dos aditivos no concreto se tornasse cada vez mais freqüente. Segundo Mehta e Monteiro (1994), a crescente busca de concretos trabalháveis e com elevadas resistências nos últimos 40 anos foi responsável pelo amplo desenvolvimento na tecnologia dos aditivos, propiciando todas estas características aos concretos usualmente aplicados hoje em dia na construção civil.

Nesta pesquisa foram feitos testes com os aditivos Viscocrete 5700, Viscocrete 20 HE e Viscocrete 3535 CB. O aditivo superplastificante utilizado foi o Viscocrete 3535 CB, pois foi o que proporcionou melhor desempenho junto aos materiais utilizados.

O fabricante recomenda a proporção de 0,5 a 1,0% de aditivo sobre o peso de cimento, para concretos plásticos. Para a pesquisa foi usado 0,4%, para o concreto padrão, pois o abatimento requerido foi obtido com esta porcentagem. O aumento desta quantidade para os traços em estudo causou exsudação e segregação do agregado graúdo.

5.2. CONCRETO PADRÃO E TEORES DE SUBSTITUIÇÃO

5.2.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A Figura 47 apresenta o gráfico das médias de resistência nas idades de 7, 28, 56 e 120 dias para o traço padrão e para cada traço com substituição de 20%, 40%, 60% e 80%.

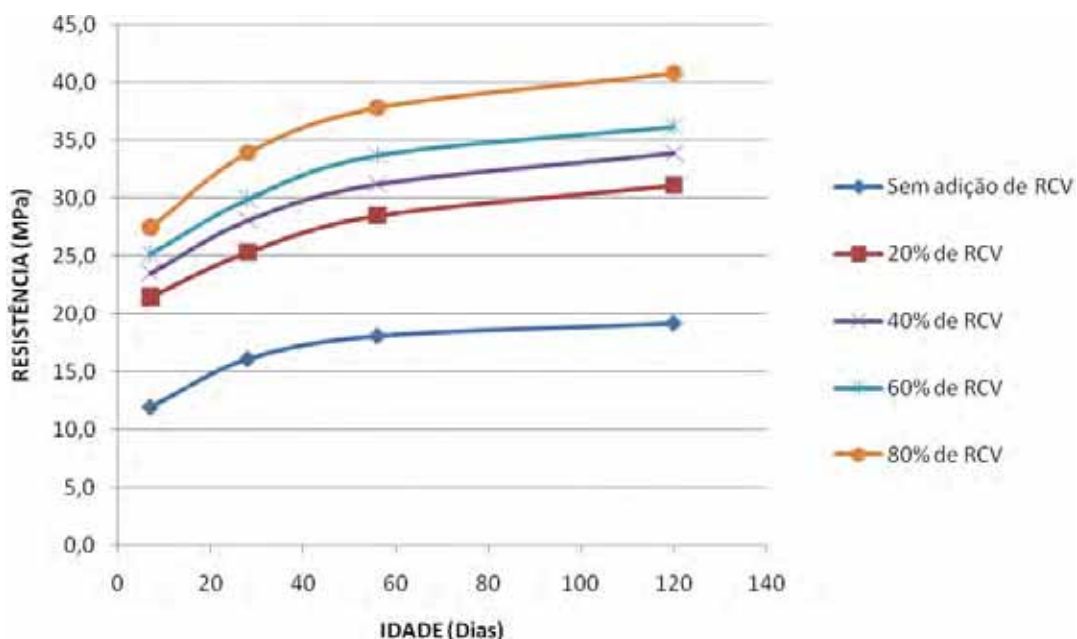


Figura 47 – Resultados das resistências de cada traço aos 7, 28, 56 e 120 dias.

Observa-se que a adição dos RCV foi bastante positiva, promovendo aumentos substanciais de resistência em função da quantidade de resíduo adicionada. Estes resultados sinalizaram a possibilidade de o RCV possuir propriedades cimentícia, conforme já observado por outros pesquisadores. Aos 28 dias, com 80% de RCV, obteve-se resistência próxima a 35MPa, ou seja, praticamente o dobro do valor obtido com para o concreto de referência. Este aspecto é muito importante, pois o aumento da resistência implica também numa possível melhoria das outras propriedades do concreto, como aumento do módulo de elasticidade, resistência à tração, impermeabilidade e durabilidade, entre outras.

Na maioria dos casos, a utilização de resíduo de cerâmica como agregado, melhora as propriedades físicas do concreto, como ocorrido neste trabalho. Em outros casos, devem ser feitas análises e ensaios específicos para caracterização e dosagem dos materiais.

5.2.2. MÓDULO DE ELASTICIDADE

O módulo de elasticidade avalia a resistência do material à deformação elástica. Materiais com baixo módulo deformam mais quando sujeitos a solicitações mecânicas. O concreto é um compósito cerâmico formado pela mistura de um material granular (agregado) imerso em uma matriz de cimento hidratado. Como material de construção, tem várias

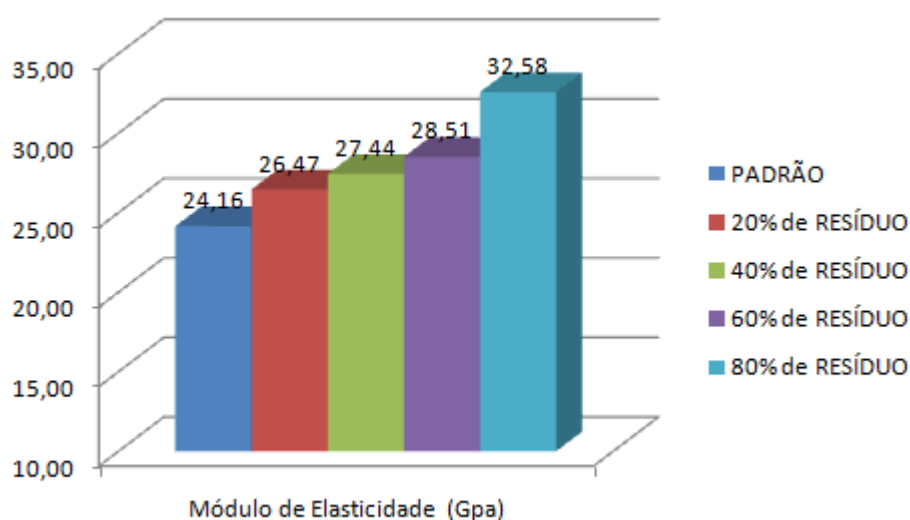
vantagens. Suas desvantagens residem na sua baixa resistência à tração e baixa capacidade de deformação. O módulo de elasticidade do concreto, diferentemente dos metais, varia em função das matérias-primas utilizadas e de sua resistência mecânica. No caso do concreto, o cimento hidratado não tem sempre a mesma estrutura, pois é formado por cristais de diferentes espécies. Além disso, a microestrutura da zona de transição (pasta-agregado) afeta o módulo de elasticidade (AGUILAR; SILVA; CORRÊA; CETLIN, 2006).

Segundo Helene e Terzian (1992), os materiais constituintes do concreto possuem módulo de elasticidade muito diferente do módulo de elasticidade do concreto. Os agregados graúdos têm um módulo variando a partir de 35 GPa e a pasta de cimento variando partir 16 GPa.

Alguns dos fatores que influem nos valores do módulo de elasticidade do concreto são:

- Tipo e quantidade de cimento;
- Qualidade da água e relação água-cimento;
- Tipos de agregados, granulometria e relação agregado-cimento;
- Presença de aditivos e adições;
- Procedimento e duração da mistura;
- Condições e duração de transporte e de lançamento;
- Condições de adensamento e de cura;
- Forma e dimensões dos corpos-de-prova;
- Tipo e duração do carregamento;
- Idade do concreto, umidade, temperatura etc.

Foram feitos ensaios de módulo de elasticidade para todos os traços em estudo aos 28 dias. As médias dos resultados de cada traço são apresentadas na Figura 48.



Figuras 48 – Médias dos resultados dos módulos de elasticidade para cada traço.

Dessa forma, como esperado, os valores de módulo de elasticidade aumentaram com o aumento do teor de substituição de agregado miúdo natural por RCV.

5.3. TEOR DE SUBSTITUIÇÃO ÓTIMO

Com base nas análises dos resultados de vários ensaios, chegou-se ao teor de ótimo de 40% de RCV em substituição à areia.

Como pode ser visto nos gráficos das Figuras 47 e 48, os resultados para o teor de substituição de 80% são os maiores, tanto para a resistência quanto para o módulo de elasticidade. O mesmo apresentou menor quantidade de ar incorporado.

Mas o teor de substituição considerado ótimo foi o de 40%, pois aos 28 dias de idade já apresentava a resistência característica requerida para estacas ($f_{ck}=18$ MPa). Apresentou também módulo de elasticidade compatível para concretos. Com exceção do teor de 80%, foi o traço que apresentou menor quantidade de ar incorporado. O fator imprescindível para esta definição foi que, para o *slump* de 170 ± 20 mm, o traço com teor de 40% requereu uma quantia de superplastificante de 0,8%, dentro dos limites indicados pelo fabricante. Já o traço com teor de 80% demandou uma quantia muito acima do limite, aumentando, assim, seu custo.

5.3.1. ENSAIOS COM MINI-ESTACAS

Com o traço de concreto com 40% de substituição, foram confeccionadas três mini-estacas de 10 cm de diâmetro e 1,0 m de comprimento, três corpos-de-prova curados em câmara úmida e três estacas com 20 cm de diâmetro e 4,5 m de comprimento, como já foi detalhado no capítulo anterior.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A Figura 49 apresenta os resultados das médias das resistências dos corpos-de-prova extraídos das mini-estacas e dos três corpos-de-prova confeccionados com o mesmo traço de concreto das estacas.

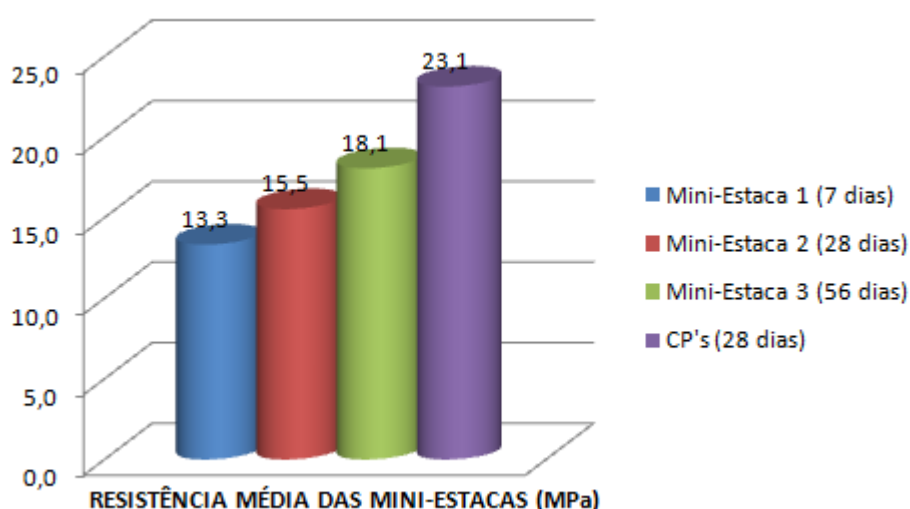


Figura 49 – Média das resistências à compressão dos corpos-de-prova extraídos das mini-estacas.

A mini-estaca 3, ensaiada aos 56 dias, apresentou valor de resistência à compressão próximo de 18,0 MPa, valor este necessário para utilização nas estacas em estudo.

Aos 28 dias houve uma diferença de 7,6 MPa, entre a resistência da estaca 2 e dos corpos-de-prova, confeccionados na mesma data e com mesmo material. Um aumento de 49% na resistência. Esta diferença pode ser devida ao modo como estes foram confeccionados. O

material das mini-estacas foi apenas lançado, sem auxílio de vibração para o adensamento. Os corpos-de-prova foram adensados em mesa vibratória e curados em câmara úmida.

MÓDULO DE ELASTICIDADE

A Figura 50 mostra o gráfico com os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade feitos em corpos-de-prova com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de comprimento.

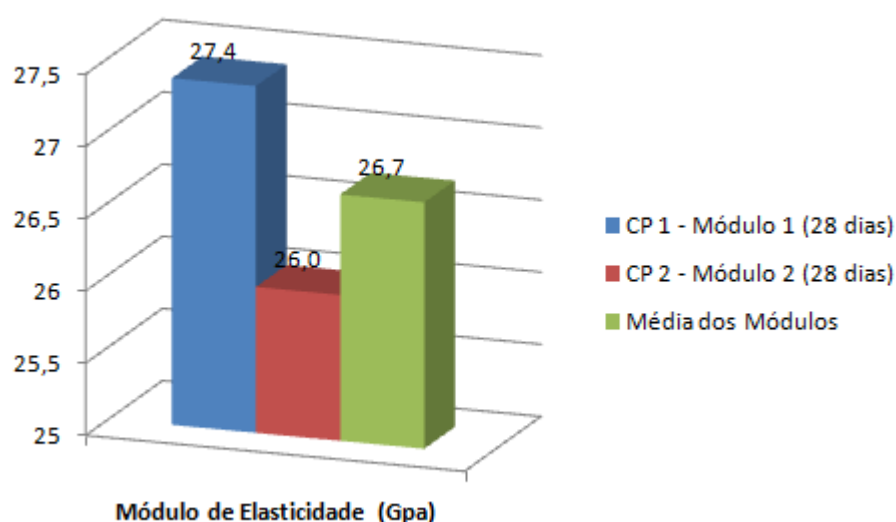


Figura 50 – Módulo de elasticidade em corpos-de-prova com 40% de RCV.

O ensaio para obtenção do módulo de elasticidade foi realizado somente com os corpos-de-prova 10x20 cm² curados em câmara úmida. Já as amostras extraídas das mini-estacas não apresentaram uma regularidade dimensional que propiciasse a realização do ensaio com os equipamentos disponíveis.

5.3.2. ENSAIO DE ABSORÇÃO

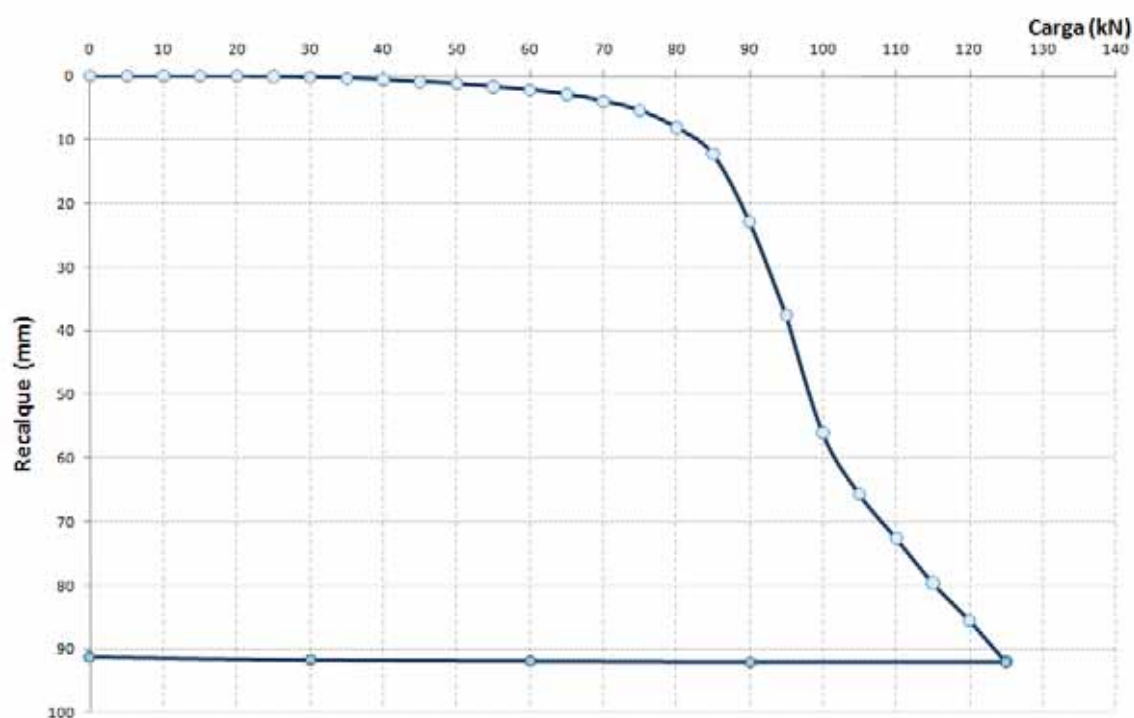
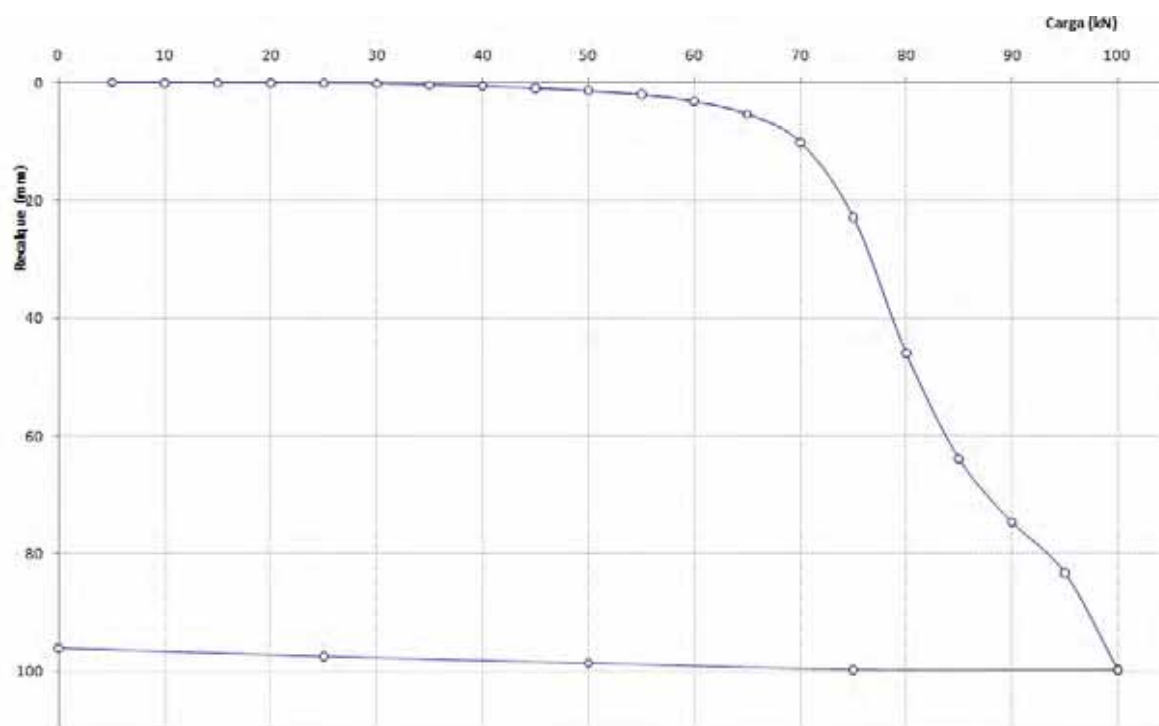
Como mostrado na Figura 25, o traço padrão apresentou uma média de absorção de 5% e o traço com 40% de resíduo apresentou uma média de 6,1%, uma diferença de 1,1%. Porém, com relação ao traço padrão, o traço com resíduo apresentou um aumento de cerca de 20%. Desta forma, o ensaio demonstrou o alto índice de absorção do resíduo cerâmico.

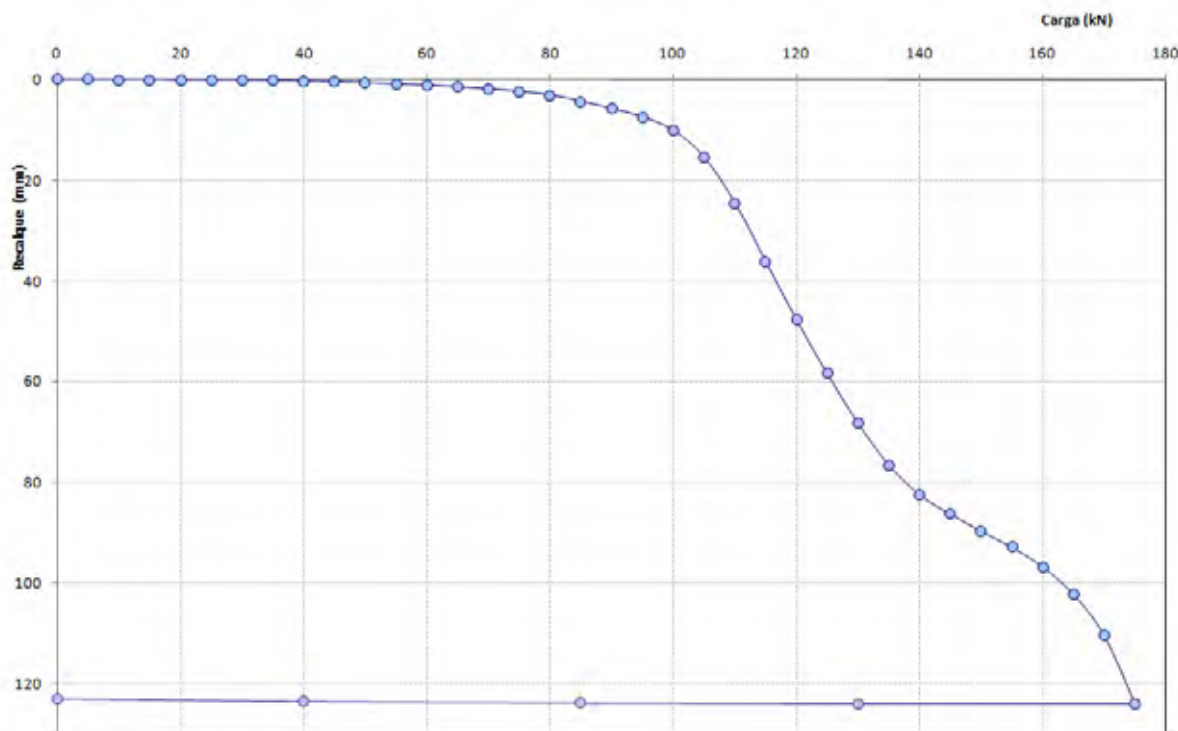
5.3.3. ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA

O índice de atividade pozolânica (IAP) com cimento aos 28 dias, em relação à argamassa de referência, foi de 48,15%. De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 1992), este índice deve ser no mínimo de 75 %, ou seja, o material avaliado não atendeu a esta exigência da norma para ser considerado pozolânico. Isto se deve ao fato de que, como já citado por Winkler e Müller (1998), o IAP depende de vários fatores, em especial o modo como foram confeccionadas as peças de cerâmica e da argila utilizada.

5.4. PROVAS DE CARGA

As Figuras 51, 52 e 53 apresentam as curvas *carga x recalque* obtidas nas provas de carga realizadas em abril de 2009, com as estacas com RCV e na Figura 54 são apresentadas as três curvas em um só gráfico. Na Tabela 13 estão apresentados os valores obtidos nas provas de carga e na Tabela 14 são mostrados os valores obtidos por Nacano (2001). Na Figura 55 são mostradas as curvas obtidas por Nacano (2001).

Figura 51 – Curva *carga x recalque* da Estaca RCV-1.Figura 52 – Curva *carga x recalque* da Estaca RCV-2.

Figura 53 – Curva *carga x recalque* da Estaca RCV-3.

A observação das Figuras 51, 52 e 53 mostra que as estacas apiloadas de concreto com RCV sofreram pequenos recalques até carregamentos em torno de 37,50% da carga máxima de ensaio, a partir dos quais os recalques aumentaram até o final do ensaio. Outra verificação foi que a manifestação das resistências de ponta das estacas iniciaram-se, para cargas aplicadas nas cabeças das mesmas, em torno de 100 kN, 80 kN e 130 kN para as estacas RCV-1, RCV-2 e RCV-3, respectivamente, uma média de 103,33 kN. Estes valores não podem ser afirmados, pois se faz necessário o desenvolvimento de instrumentações específicas que registrem o exato momento em que a ponta da estaca começa a reagir contra o solo sob sua ponta, ou seja, após o total esmagamento do elemento de poliestireno expandido colocado sob a ponta das mesmas.

A Figura 54 apresenta as curvas das figuras anteriores, sobrepostas em um único gráfico, para uma análise comparativa dos resultados obtidos nas três provas de carga.

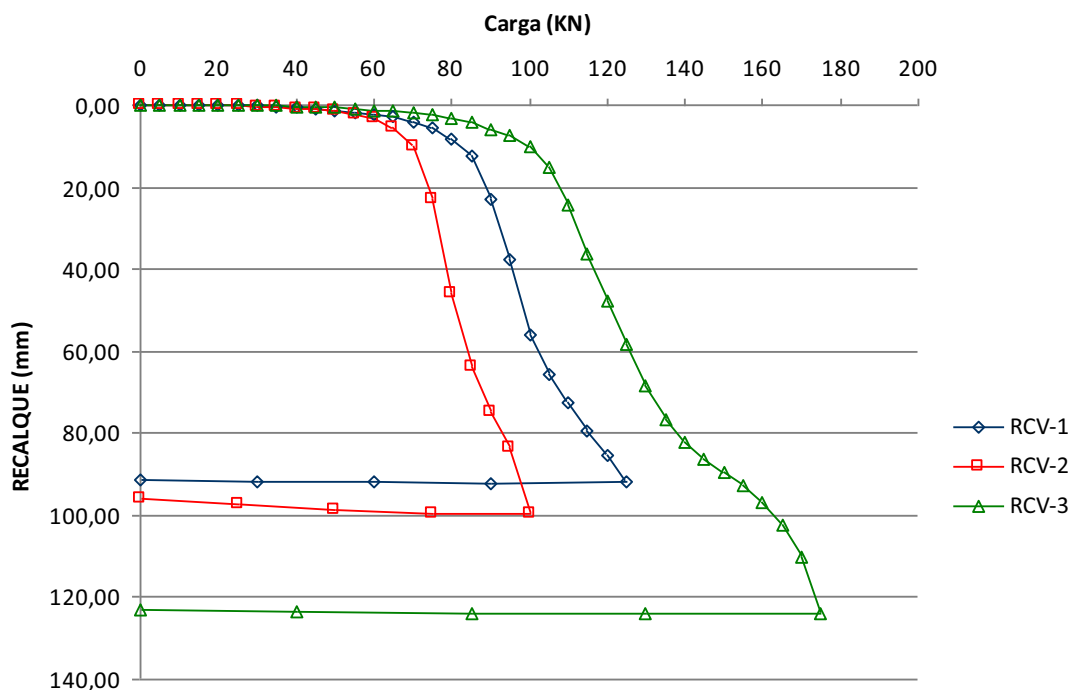


Figura 54 – Carga x recalque das estacas em concreto com RCV.

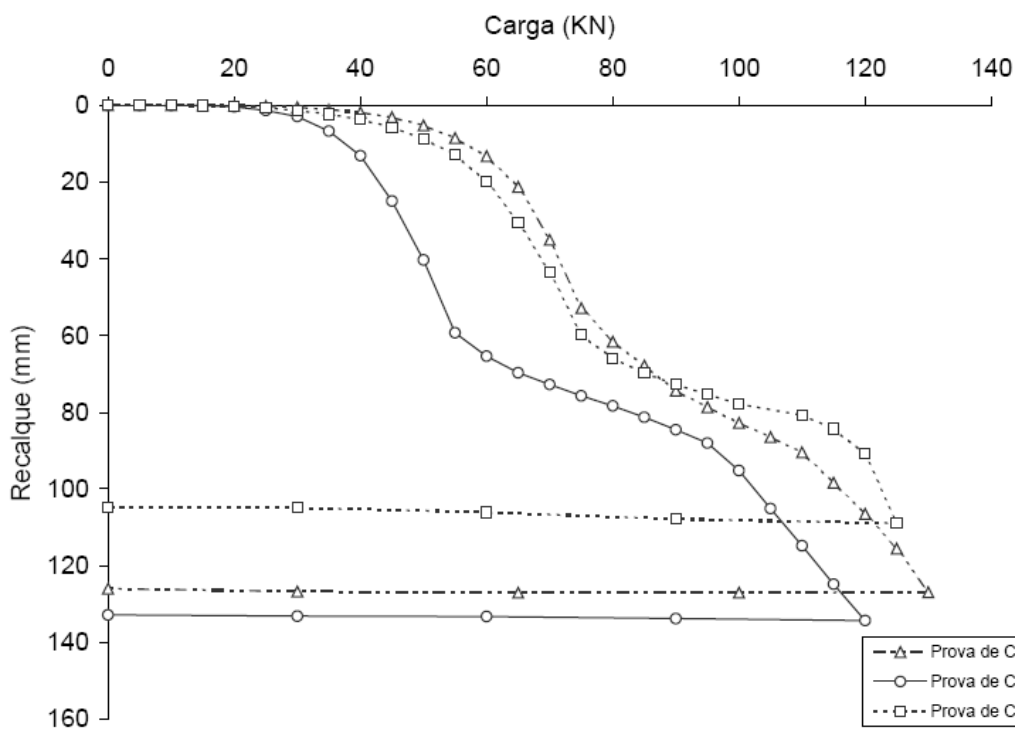


Figura 55 – Carga x recalque das estacas em concreto simples ensaiadas por Nacano (2001).

Tabela 13 – Resumo das cargas máximas obtidas nas provas de carga em estacas em concreto convencional (CON-1, CON-2 e CON-3) e em estacas com resíduo (RCV-1, RCV-2, RCV-3).

Estaca	$Q_{\max}$ (kN)	ρ (mm)	$Q_{\text{méd}}$ (kN)	$\rho_{\text{méd}}$ (mm)
RCV-1	125	92,02	133,3	105,2
RCV-2	100	99,75		
RCV-3	175	123,93		
CON-1	130	127,05	125,0	123,4
CON-2	120	134,29		
CON-3	125	108,90		

$Q_{\max}$: carga máxima de ensaio; ρ : recalque; $Q_{\text{méd}}$: carga média máxima de ensaio; e $\rho_{\text{méd}}$: recalque médio.

A Tabela 15 mostra a carga média máxima para estacas com RCV de 133,3 kN e para estacas em concreto convencional de 125,0 kN. Os recalques médios foram de 105,2 mm e 123,4 mm, para estacas com RCV e em concreto convencional, respectivamente.

CARACTERÍSTICAS DO SOLO DA REGIÃO DE ILHA SOLTEIRA

Como esta pesquisa se trata do estudo sobre fundações por estacas moldadas *in loco*, foi utilizado o campo experimental de fundações do campus da UNESP em Ilha Solteira, em local cujo subsolo é característico de várias cidades importantes do interior do Estado de São Paulo, sendo representativo dos solos arenosos de alta porosidade, encontrados em todo o centro-sul do Brasil. Nesta região, o solo tem uma formação inicialmente coluvionar (até 11 metros), de areia fina pouco argilosa e, em seguida, uma camada de solo aluvionar (em torno de 6 metros). Estes coluviões, com elevada porosidade, alcançam, em muitos locais, espessuras de até 15 metros, sendo comuns valores de até 8 metros. Em razão de sua estrutura muito porosa, apresentam elevada compressibilidade, alta permeabilidade ($k_{20}=10^{-3}$ cm/s), baixa resistência à penetração ($SPT < 4$ golpes e $QC < 2,5\text{MPa}$), e pequena capacidade de carga ($\sigma_{\text{ADM}} < 50\text{kPa}$), tendo, como principal característica, sua elevada colapsibilidade, quando inundado após carregamentos, observando-se colapsos de até 15%. Devido à elevada colapsibilidade e grandes espessuras em que ocorrem estes solos, os mesmos constituem um grave problema para a estabilidade e integridade de obras civis, principalmente as de médio e pequeno porte.

O solo superficial da região é pouco compacto, devido à sua origem recente, sem estratificação, originado de rochas que sofreram intemperismo e erosão, na maioria das vezes o arenito Bauru. O contato do solo superficial com as formações subjacentes é facilmente observável, devido a uma camada de seixos (quartzo e limonita transportada), encontrada no campo experimental a uma profundidade de 12 m e com uma espessura de 0,6 m (SOUZA, 1993).

CONCLUSÕES

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas através dos resultados desta pesquisa.

A resistência e o módulo de elasticidade do concreto aumentaram em função dos acréscimos efetuados nos teores de substituição.

Acima de 40% de teor de substituição, o concreto tornou-se inviável, pois houve necessidade de um grande aumento na quantidade de aditivo para se manter o abatimento desejável.

O material cerâmico triturado pode ser usado em obras para corrigir possíveis falhas na distribuição granulométrica dos agregados naturais utilizados na confecção do concreto.

Os resultados obtidos permitem concluir que o concreto com RCV apresenta plenas condições de uso na confecção de estacas moldadas *in loco*, podendo, neste caso ser utilizado com segurança.

O RCV não apresentou o índice necessário para ser considerado um material pozolânico, mas sua utilização, em substituição ao agregado miúdo melhorou suas propriedades mecânicas. Isto possivelmente ocorreu devido ao efeito *filler* do RCV atuando na estrutura do concreto, ocupando os espaços vazios deixados pelas partículas de grãos maiores.

Os resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade sofreram grande influência devido aos diferentes processos de adensamento e tipos de cura utilizados.

A utilização do RCV ocasionou aumento na absorção do concreto, mas não afetou as suas propriedades mecânicas.

Para cargas maiores, nas provas de cargas, notou-se que os recalques foram menores para as estacas com RCV.

As estacas com RCV manifestaram resistência de atrito lateral para cargas aplicadas nas cabeças, em média, em torno de $103,33 \text{ kN} \div 2,83 \text{ m}^2 \approx 36,5 \text{ kPa}$.

As curvas *carga x recalque* obtidas nas provas de carga realizadas com as estacas em concreto convencional CON e nas com RCV mostram um comportamento bastante similar.

SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- Estudo da aplicação de outros tipos de resíduo em concreto para a realização do mesmo estudo;
- Influência da variação de dosagem do resíduo;
- Estudo do concreto com RCV em diferentes aplicações;
- Estudo de durabilidade e viabilidade econômica deste estudo;
- Como o índice de atividade pozolânica depende do tipo e do processo de fabricação da cerâmica, recomenda-se o estudo dos índices de atividade pozolânica para diferentes tipos de cerâmica;
- Ensaaios com as mesmas estacas, mas em solo saturado;
- Utilização de instrumentação que indique em tempo real o instante em que a reação de ponta da estaca começa a ser mobilizada e assim separar realmente a carga de atrito lateral ao longo do fuste da carga de ponta da estaca.
- Estudos relacionados aos tipos de cerâmica vermelha, da região de Ilha Solteira, para serem aplicadas em concreto.

REFERÊNCIAS

CAPÍTULO VII

7. REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos da construção**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001. 13 p.

AGUILAR, M. T. P.; SILVA, A. P.; CORRÊA, E. C. S.; CETLIN, P. R. Análise da capacidade de deformação do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS- CBECIMat, 17., 2006, Foz do Iguaçu. **Módulo de Young X módulo de deformação**. Foz do Iguaçu: Metallum, 2006. p 3672-3684.

ALBUQUERQUE, P. J. R.; CARVALHO, D.; FERREIRA, C. V.; LOBO, A. S. Determinação da carga de ruptura de fundação avaliada com base no conceito de rigidez e método de Van der Veen. In: CONGRESSO ARGENTINO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17., 2004, Córdoba. **Anais...** Córdoba: Argentina, 2004, Córdoba. 1 CD-ROM.

ALVES, S. et al. Desenvolvimento de argamassas e concreto com resíduos de cerâmica vermelha moída. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, COMITÊ TÉCNICO CT 206- MEIO AMBIENTE, 5., 2002, Porto Alegre. **Anais...** IBRACON/IPEN, Habitare, 2002. p. 131-141.

ANGELIS NETO, G.; ANGELIS, B. L. D. Impactos ambientais causados pelo destino final dos resíduos sólidos urbanos de Maringá/PR. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.21, n.4, p. 929-940, 1999.

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

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Normalização dos agregados graúdos de resíduo de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002. 12 p.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. Materiais reciclados e suas aplicações. In: SEMINÁRIO: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2001. p 43-56,

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 8492**: tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção d' água. Rio de Janeiro, 1984. 8 p.

_____. **NBR 7218**: agregados: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987. 1 p.

_____. **NBR 9776**: agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman, 1987. 1 p.

_____. **NBR 9778**: argamassa de concreto endurecido: determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica; especificação. Rio de Janeiro, 1987b.

_____. **NBR 9833**: concreto fresco: determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1987e.

_____. **NBR 11578**: cimento portland composto: especificação. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____. **NBR 5737**: cimento portland resistente a sulfatos: especificação. Rio de Janeiro. 1992.

_____. **NBR 5752**: materiais pozzolânicos: determinação da atividade pozzolânica com cimento Portland – índice de atividade pozzolânica com cimento. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.

_____. **NBR 12653**: materiais pozzolânicos: especificação. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.

_____. **NBR 5739:** concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 9 p.

_____. **NBR 6122:** projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 1996. 33 p.

_____. **NM 67:** concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone; procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

_____. **NBR NM 30:** agregado miúdo: determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001a.

_____. **NBR NM 49:** agregado miúdo: determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001. 7 p.

_____. **NM 47:** determinação do teor de ar em concreto fresco: método pressométrico; procedimento. Rio de Janeiro, 2002. 23 p.

_____. **NBR NM 46:** agregado miúdo: determinação do material fino que passa na peneira de 75 micrometros por lavagem. Rio de Janeiro, 2003c.

_____. **NBR NM 52:** agregado miúdo: Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR NM 53:** agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003d.

_____. **NBR NM 248:** agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR 8522:** concreto: determinação dos módulos estáticos de elasticidade, de deformação e da curva de tensão/deformação. Rio de Janeiro, 2003. 9 p.

_____. **NBR 10004:** resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. 63 p.

_____. **NBR NM 45:** agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 12131:** estacas: prova de carga estática – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- ASTM. **ASTM 618 C:** fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in Portland cement concrete. Philadelphia, 1992. 3p.

BAVARESCO, C. R. **Utilização de entulho reciclado para produção de argamassas.** 2001. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

CARNEIRO, A. P. et al. Construction waste characterisation for production of recycled aggregate – Salvador/Brazil. In: WASTE MATERIALS IN CONSTRUCTION, 4., 2000, Leeds. **Proceedings...** Amsterdam: Elsevier, 2000. p. 825-835.

CARNEIRO, A. P. et al. Características do entulho e do agregado reciclado. In: CASSA, J.C.S.; CARNEIRO, A.P.; BRUM, I.A.S. (Org.). **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção:** projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001. p.142-187.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios.** São Paulo: Signus, 1996. 2v., 424 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de Julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Brasília, 2002. 3 p.

DALLACORT, R. et al. Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.511-518, 2002, 14 p. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 21 mar. 2008.

FRANCHI, C. C.; SOIBELMAN, L. S.; FORMOSO, C. T. As perdas de materiais na indústria da construção civil. In: SEMINÁRIO QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1993, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRS, 1993. p. 133 – 198.

HAMASSAKI, L. T. Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 107-115.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349 p.

HENDRIKS, C. F. **The building cycle**. Holanda: Aeneas, 2000. 231 p.

HUANG, W. L. et al. Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process. **Resources Conservation and recycling**, [S.l.], v.37, n.1, p. 23-37, 2002.

JARDIM, N. S. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT, 1995. 278 p. (IPT, 2163).

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos na construção. In: SEMINÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS, 1., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CETESB, 2000. p. 1-13. Disponível em: < www.pcc.usp.br >. Acesso em: 18 mar. 2008.

JOHN, V. M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2, 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1997. p. 21-30.

JOHN, V. M. **Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil**. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999, p. 44 – 55.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102f. Tese (Livre Docência)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M. **Aproveitamento de resíduos como materiais de construção**: reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. Salvador: EDURFA, 2001. p. 28-45. (Projeto entulho bom).

KASSAI, Y. Barriers to the reuse of construction by-products and the use of recycled aggregate in concrete in Japan. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Ed.). **Use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford, 1998. p. 433-444.

KIM, H. K. et al. A Research on the recycling of ceramic waste as an aggregate for concrete. In: CONFERENCE ON NON CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES, 3., 2002, Vietnam. **Proceedings...** Vietnam: Waste Management, 2002. p. 138-143.

KOERNER, R. M.; DANIEL, D. E. **Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps**. New York: ASCE PRESS, 1997. 253 p.

LATTERZA, L. M. **Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição**: um novo material para fabricação de painéis leves de vedação. 1998. 116f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LAURITZEN, E. K. The global challenge of recycled concrete. In: DHIR, HENDERSON; LIMBACHIYA (Ed.). **Use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford , 1998. p. 506-519.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregado para argamassas e concretos**. 1997, 147 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 1997.

LIMA, F. B.; VIEIRA, G. L. Blocos de concreto produzidos com entulho da construção civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: IBRACON, 2001. 1CD-ROM.

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. 240f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MATOS, G.; WAGNER, L. Consumption of materials in the United States 1900-1995. US geological survey. **Annual Review of Energy and the Environment**, [S.l.], n. 25, v. 23, p.9, 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

MELO, B. N. **Análise de provas de carga à compressão à luz do conceito de rigidez**. 2009. 256f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MILITITSKY, J. **Large bored pile in clay – design and behavior**. 1980. 222f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Surrey, Guildford, Surrey, 1980.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. A Reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

MORAES, L. D. **Aspectos relevantes da potencialidade e da aplicabilidade da reciclagem de resíduos sólidos na construção civil**. 2008. 113f. Trabalho Conclusão de Curso

(Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Ijuí, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Ijuí, 2008.

MORAIS, A. S. **Estudo das características de resistência do solo-cimento plástico e aplicação em estacas moldadas *in loco***. 2002. 123f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2002.

NACANO, M. **Capacidade de carga de estacas apiloadas confeccionadas com solo-cimento plástico**. 2001, 154f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

NIENOV, F. A. **comportamento à compressão de estacas escavadas de pequeno diâmetro em solo sedimentar na região de Santa Maria**. 2006. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. 2002. 191 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção: estudo do uso em argamassas**. 1986. 140f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Arquitetura e Planejamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PINTO, T. P. Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 159-170.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189f. (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P. Resíduos de construção civil: nova legislação permite rápido avanço para normas técnicas e novas soluções. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 34., 2004, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: ASSEMAE, 2004. p. 16-21.

SILVA, M. G. Reciclagem de cinza de casca de eucalipto e entulho de obra de componentes de construção. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 99-105.

SIMÕES, G. F., CATAPRETA, C. A. A., MARTINS, H. L., BATISTA, H. P. Avaliação da compactação dos resíduos sólidos urbanos dispostos no aterro sanitário da BR-040 em Belo Horizonte-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 5., 2003, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2003.

SOUZA, A **Utilização de fundações rasas no solo colapsível de Ilha Solteira (SP)**. 1993. 126f. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

TRINDADE, G. H. **Gestão de resíduo da construção civil (RCC) em canteiro de obras**. 2008. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2002. v. 2, 472 p.

WINKLER, A.; MÜELLER, H. A. Recycling of fine processed building rubble materials. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Ed.). **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford, 1998. p. 157-168.

XAVIER, G. C.; BAHIANSE, A. V.; MANHÃES, R. T.; ALEXANDRE, J.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. **Utilização do planejamento experimental na incorporação do resíduo da indústria cerâmica em argamassas para obtenção da capacidade de retenção**

de água. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2008. 9 p.

YAMAMOTO, J. K. et al. Environmental impact reduction on the production of blended portland cement in Brazil. **Environmental Geosciences**, São Paulo, v.4, n. 4, p. 192-206, 1997.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil - FEC, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 1997.

ZULAUF, W. E. Macroreciclagem de lixo urbano. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS RESID, 99., 1999, São Paulo. **Um conceito ambientalmente sustentável para o destino final do lixo.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1999. p. 91-95.

ANEXOS

Tabela 14 – Resultados das resistências dos corpos-de-prova extraídos das mini-estacas e dos CP's confeccionados com o mesmo material.

		Resistências (Mpa)	Médias das Resistências (Mpa)
Estaca 1 (7 dias)	CP1	13,6	
	CP2	12,7	13,3
	CP3	13,7	
Estaca 2 (28 dias)	CP1	15,3	
	CP2	16,8	15,5
	CP3	14,5	
Estaca 3 (56 dias)	CP1	18,5	
	CP2	17,7	18,1
	CP3	18	
CP's (28 dias) (10 X 20 cm)	A1	21,6	
	A2	23,6	23,1
	A3	24,2	

Tabela 15 – Resultados dos ensaios de absorção com os traços padrão e teor de 40% de RCV.

TRAÇOS	CP's	MASSA SECA (Ms) (g)	MASSA ÁGUA (Mw) (g)	ABSORÇÃO (%)	Média (%)
TRAÇO PADRÃO	P4	3394,2	3557,2	4,8	5,0
	P5	3312,5	3479,7	5,0	
	P6	3277,9	3446,6	5,1	
TRAÇO COM RESÍDUO (40%)	R4	3245,1	3440,3	6,0	6,1
	R5	3252,2	3460,8	6,4	
	R6	3277,7	3472,0	5,9	

Tabela 16 – Resultados das provas de carga das estacas com resíduo (RCV-1, RCV-2 e RCV-3).

RCV-1		RCV-2		RCV-3	
Carga (KN)	Recalque (mm)	Carga (KN)	Recalque (mm)	Carga (KN)	Recalque (mm)
0	0,00	0	0,00	0	0,00
5	0,00	5	0,02	5	0,00
10	0,00	10	0,05	10	0,02
15	0,02	15	0,08	15	0,04
20	0,03	20	0,09	20	0,08
25	0,07	25	0,13	25	0,09
30	0,17	30	0,24	30	0,12
35	0,37	35	0,43	35	0,17
40	0,63	40	0,69	40	0,29
45	0,93	45	0,99	45	0,44
50	1,25	50	1,46	50	0,66
55	1,71	55	2,11	55	0,90
60	2,19	60	3,24	60	1,16
65	2,90	65	5,43	65	1,49
70	3,95	70	10,17	70	1,87
75	5,43	75	22,81	75	2,38
80	8,15	80	45,98	80	3,09
85	12,31	85	63,90	85	4,32
90	22,94	90	74,71	90	5,78
95	37,56	95	83,38	95	7,44
100	56,09	100	99,75	100	10,10
105	65,69	75	99,71	105	15,37
110	72,58	50	98,57	110	24,38
115	79,62	25	97,39	115	36,09
120	85,49	0	96,00	120	47,57
125	92,02			125	58,39
90	92,04			130	68,18
60	91,92			135	76,45
30	91,74			140	82,33
0	91,33			145	86,25
				150	89,69
				155	92,89
				160	96,75
				165	102,18
				170	110,27
				175	123,93
				130	123,93
				85	123,79
				40	123,55
				0	123,12

Tabela 17 – Resultados das provas de carga com as estacas de concreto convencional.

CON – 1		CON – 2		CON – 3	
Carga (kN)	Recalque (mm)	Carga (kN)	Recalque (mm)	Carga (kN)	Recalque (mm)
0	0,00	0	0,00	0	0,00
5	0,00	5	0,00	5	0,00
10	0,00	10	0,01	10	0,01
15	0,01	15	0,08	15	0,06
20	0,09	20	0,40	20	0,23
25	0,23	25	1,35	25	0,61
30	0,56	30	2,96	30	1,33
35	1,15	35	6,78	35	2,31
40	1,92	40	13,16	40	3,73
45	3,21	45	24,95	45	5,81
50	5,29	50	40,36	50	8,69
55	8,52	55	59,26	55	12,87
60	13,23	60	65,38	60	19,87
65	21,3	65	69,78	65	30,57
70	35,10	70	72,79	70	43,63
75	52,88	75	75,77	75	59,80
80	61,59	80	78,41	80	65,99
85	67,82	85	81,28	85	69,88
90	74,37	90	84,54	90	72,78
95	78,68	95	88,11	95	75,34
100	82,81	100	95,19	100	77,88
105	86,50	65	95,59	110	80,78
110	90,47	45	95,59	115	84,24
115	98,38	25	95,48	120	90,90
120	106,46	0	95,36	125	108,90
125	115,56			90	107,90
130	126,94			60	106,11
100	127,05			30	104,96
65	126,98			0	104,93
30	126,76				
0	126,02				

Fonte: Nacano, 2001 apud Morais, 2002