

**UNIJUÍ – UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO
DO RIO GRANDE DO SUL**

DETEC – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

EGC - ENGENHARIA CIVIL

Marlo Jorge da Costa

***AVALIAÇÃO DO USO DA AREIA ARTIFICIAL EM CONCRETO
DE CIMENTO PORTLAND:
APLICABILIDADE DE UM MÉTODO DE DOSAGEM***

Ijuí/RS, maio de 2005

MARLO JORGE DA COSTA

***AVALIAÇÃO DO USO DA AREIA ARTIFICIAL EM CONCRETO
DE CIMENTO PORTLAND:
APLICABILIDADE DE UM MÉTODO DE DOSAGEM***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Departamento de Tecnologia da UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

PROFESSOR ORIENTADOR: M. Eng. LUÍS EDUARDO AZEVEDO MODLER

Ijuí/RS, maio de 2005

UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

A COMISSÃO EXAMINADORA, ABAIXO ASSINADA, APROVA O TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DO USO DE AREIA ARTIFICIAL EM CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND: APLICABILIDADE DE UM MÉTODO DE DOSAGEM

ELABORADO POR

MARLO JORGE DA COSTA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO
CIVIL

Prof. M. Eng. Luís Eduardo Azevedo Modler
Coordenador do Curso de Engenharia Civil

Prof. M. Eng. Luís Eduardo Azevedo Modler - Orientador

Prof. M. Eng. Cristina Eliza Pozzobon – UNIJUÍ, Banca Examinadora

Prof. Dr. Eng. Luciano Pivoto Specht – UNIJUÍ – Banca Examinadora

Ijuí/RS, maio de 2005.

Agradecimentos

A Deus

*O grande, eterno e principal agradecimento
deve sempre ser feito a vida,
ao criador em suas mais diversas manifestações.*

Aos meus Pais e minha Irmã,

*A vocês, que me deram a vida e me
Ensinaram a vivê-la com dignidade,
Os méritos desta vitória lhes pertencem.*

A Cleunice, Gabriel e Davi

*Na minha sede de crescer,
Não me descuidei de trazer-te comigo.
A minha graditão a vocês que a mim se ligaram
Pelo amor, amizade, carinho e respeito, ou pelo simples
Convívio ao longo dos anos.*

Agradeço a ajuda prestimosa de meu orientador

*Professor Luís Eduardo Modler,
pela paciência e carinho com que sempre me acolheu*

*A todos que direta ou indiretamente,
Colaboraram na execução deste trabalho.*

RESUMO

A inclusão de novas tecnologias na construção civil implica entre outros aspectos na criação de estratégias que reduzam os impactos ambientais gerados pela extração de recursos naturais. Exemplo claro dos impactos citados é a extração de areia natural que agride a natureza principalmente no que se refere aos rios, modificando em muitas vezes sua calha natural, provocando um aumento da vazão da água ou acelerando a erosão das margens. É importante, então, a busca de alternativas a este tipo de material. Nessa perspectiva, destacam-se algumas vantagens, características e propriedades da areia artificial oriunda do processo de britagem. O mercado coloca como opção barata e ecológica, sem cuidados com a dosagem, ao considerar a areia artificial um rejeito na construção civil. Dessa constatação, suscita a preocupação de aplicar um método de dosagem na fabricação de concreto de cimento Portland com o emprego de areia artificial, sem, contudo, descuidar dos aspectos tecnológicos da qualidade imprescindíveis para melhoria contínua dos processos construtivos. Este trabalho busca verificar e analisar a confiabilidade de um método de dosagem para o concreto de cimento Portland com substituição parcial de areia artificial para concretos de resistência de dosagem de 32 e 45 MPa. Baseada em ensaios de laboratório, a pesquisa mostra os resultados da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. A metodologia empregada insere-se em uma análise quantitativa. Conclui-se que o emprego da areia artificial em termos de aplicabilidade do método proposto pelo IPT não apresentou diferenças significativas.

Palavras-Chaves: Areia artificial, Materiais de construção, Concreto, Dosagem de concreto.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE ABREVIATURAS | viii |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE QUADROS | x |
| LISTA DE TABELAS | xi |
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA | 13 |
| 1.2 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO | 13 |
| 1.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO | 13 |
| 1.3.1 Objetivo Geral | 13 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 14 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1 MATERIAIS | 17 |
| 2.1.1 Cimento Portland | 17 |
| 2.1.2 Agregados | 19 |
| 2.1.2.1 Agregado Miúdo - Areia Natural | 20 |
| 2.1.2.2 Agregado Miúdo - Areia Artificial | 21 |
| 2.1.2.3 Agregado Graúdo | 23 |
| 2.1.3 Água | 24 |
| 2.1.4 Método de Dosagem | 24 |
| 3 METODOLOGIA | 26 |
| 3.1 PROCESSO DE DOSAGEM | 27 |
| 3.1.1 Definição dos Traços Básicos | 27 |
| 3.1.2 Determinação do Teor de Argamassa | 27 |
| 3.1.3 Cálculo das Quantidades e Moldagem dos Traços Básicos | 29 |
| 3.1.4 Determinação Água/Cimento (a/c) e Umidade (H) | 30 |
| 3.1.5 Resultados de Resistência à Compressão | 31 |

| | |
|--|----|
| 3.1.6 Definição dos Traços Definitivos | 31 |
| 3.2 MOLDAGEM DE CONTROLE – TRAÇO DE REFERÊNCIA E TRAÇOS COM TEORES DE SUBSTITUIÇÃO DE 25% E 50% DE AREIA ARTIFICIAL | 34 |
| 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 37 |
| 4.1 RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E CONSUMO DE CIMENTO | 37 |
| 4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO | 39 |
| 5 CONCLUSÃO | 42 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 44 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A/C – Fator Água Cimento

CP's – Corpos-de-Prova

fc – Resistência à compressão do concreto obtida de um corpo-de-prova

fcj – Resistência à compressão do concreto a j dias de idade

Fck – Resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto estrutural

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LEC – Laboratório de Engenharia Civil

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PIB – Produto Interno Bruto

UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Britador que produz a areia artificial | 23 |
| Figura 2 – Lançamento dos materiais na betoneira | 34 |
| Figura 3 – Aspecto da aparência do concreto da mistura inicial | 35 |
| Figura 4 – Aspecto da superfície do concreto | 35 |
| Figura 5 – Determinação da consistência da mistura inicial (slump test) | 36 |
| Figura 6 – Rompimento do Corpo de Prova Resistência à Compressão aos 28 dias | 36 |
| Figura 7 – Teores de Substituição x Fator A/C | 38 |
| Figura 8 – Consumo de Cimento x Teores de Substituição | 38 |
| Figura 9 – Evolução da Resistência à compressão em função do tempo para fcj 32 MPa | 40 |
| Figura 10 – Evolução da Resistência à compressão em função do tempo para fcj 45 MPa | 40 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Tipos de Cimento Portland existentes atualmente no mercado brasileiro..... | 18 |
| Quadro 2 – Determinação do teor ideal de argamassa para o traço 1:5,0 referência | 28 |
| Quadro 3 – Quantidade de material para os traços base..... | 30 |
| Quadro 4 – Definição dos traços de Referência para dosagem de 32 e 45 MPa..... | 32 |
| Quadro 5 – Definição dos traços de substituição de 25% de areia artificial para dosagem de 32 e 45 MPa | 32 |
| Quadro 6 – Definição dos traços de substituição de 50% de areia artificial para dosagem de 32 e 45 MPa | 33 |
| Quadro 7 – Quantidade de material para os traços definitivos..... | 33 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Teor ideal de argamassa e fator Água/Cimento | 29 |
| Tabela 2 – Resultado de resistência à Compressão dos traços básicos | 31 |
| Tabela 3 – Resultado da relação A/C e consumo de cimento | 37 |
| Tabela 4 – Resultado de resistência à Compressão | 39 |
| Tabela 5 – Idades x desvio relativo | 41 |

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, uma das principais preocupações do homem tem sido onde e como se abrigar. Para isso, inicialmente usou recursos naturais como cavernas, madeira, ossos, peles de animais sem o uso de técnicas de transformação destes recursos. Porém, com sua evolução, foi também necessária a busca de novas técnicas de construção e de materiais capazes de impor mais qualidade e resistência à construção e que possibilitassem a redução dos efeitos de degradação ao meio ambiente.

Os estudos da área da construção civil têm-nos revelado que a evolução tecnológica da área é precária, visto que a maioria das empresas tem porte médio ou pequeno com capital escasso para investimentos na aquisição de padrões tecnológicos e administrativos mais eficientes.

No entanto, os estudos desenvolvidos nos últimos anos têm mostrado como algumas das principais preocupações dos pesquisadores da construção civil a busca de materiais alternativos e a reciclagem de resíduos industriais, para diminuir o uso de recursos naturais, evitando, assim, a degradação do meio ambiente.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Verificar a eficácia do uso da areia artificial em substituição parcial à areia natural em concretos de cimento portland através da aplicação de um método de dosagem para obter concretos com resistência à compressão de 32 e 45 MPa, constitui-se objeto deste estudo.

1.2 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO

A questão que este estudo se propõe a responder é: “A substituição de areia artificial, em percentuais de 25 e 50% exerce influência sobre as características do concreto de cimento Portland fresco e endurecido em termos de aplicabilidade de um método de dosagem escolhido?”

1.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO

1.3.1 Objetivo Geral

Aplicar um método de dosagem para concretos de cimento Portland com substituição parcial de areia artificial e verificar as características físicas destes concretos em relação à referência, preparado com areia natural.

1.3.2 Objetivos Específicos

Propõe-se no presente trabalho os seguintes objetivos específicos:

- Obter concretos com resistência à compressão de dosagem de 32 e 45 MPa, com areia natural e com substituição parcial de areia artificial, a partir de um método de dosagem racional;
- Analisar a variável de resposta, resistência à compressão e a correlação da mesma com variáveis independentes, quais sejam, teor da substituição e resistência da dosagem.

1.4 JUSTIFICATIVA

O estudo da areia artificial em substituição à areia natural em concreto de cimento Portland suscita reflexões acerca da importância da construção civil. Nesse sentido, torna-se fundamental destacar a relevância econômica desse setor, principalmente no que se refere ao PIB nacional, pela geração de uma cadeia produtiva interna que, ao mesmo tempo em que contribui significativamente com a geração de infra-estrutura e de novas habitações e locais de trabalho, não causa pressões na balança comercial do país, uma vez que a grande maioria da matéria-prima e dos insumos demandados são disponíveis e produzidos no país, o que faz com que a atividade econômica gerada no setor tenha pouco impacto nas importações brasileiras.

Outra questão a ser destacada neste setor é o seu caráter social que abrange dois aspectos: o primeiro refere-se à geração de empregos, pois é considerada a maior indústria do país por empregar grande contingente de mão-de-obra. Além disso, este setor alavanca inúmeros outros mercados produtivos, sejam de insumos ou de serviços.

O segundo aspecto relaciona-se ao déficit habitacional observado atualmente, resultante da crise do setor da construção civil ao longo dos anos 80 e 90, e que tem representado um custo social extremamente elevado.

No que se refere aos avanços tecnológicos, percebe-se uma lenta evolução. Nos anos 80, a lucratividade do setor dava-se em função da valorização imobiliária do produto final e, na maioria das empresas construtoras, não havia preocupação com a melhoria da eficiência do processo produtivo. Já a partir da década de 90, em função de vários fatores as empresas começaram a se preocupar com suas margens de lucro, passando a utilizar estratégias de redução de custos, com aumento de produtividade, busca de soluções tecnológicas, de aumento do grau de industrialização do processo produtivo, bem como o uso de materiais alternativos visando à diminuição da degradação do meio ambiente.

Neste contexto, destaca-se a importância do estudo e da experimentação de novas tecnologias e de materiais alternativos que possam ser usados nas edificações produzidas neste setor. Um destes materiais é a areia artificial que, em substituição à natural, diminui os impactos negativos provocados pela extração deste recurso natural.

Sabe-se que “a extração de areia natural no Brasil chega a 320 milhões de metros cúbicos anualmente, o equivalente a 7.100 estádios iguais ao Maracanã. Isto causa um grave problema ambiental [...]” (CANAL CIÊNCIA, 2003). Essa retirada agride a natureza, principalmente no que se refere aos rios, modificando, em muitas vezes, sua calha natural,

provocando um aumento da vazão da água e/ou acelerando a erosão das margens. Quando a extração é feita em solo arenoso com a criação de cavas, estas podem se transformar em lagos propícios à proliferação de insetos, à poluição do solo e à modificação da paisagem do meio ambiente.

Ao contrário das areias de rios, a areia artificial possui como principal vantagem manter sempre a mesma granulometria pelo seu beneficiamento. Além disso, dois aspectos podem ser considerados de grande relevância na utilização de areia artificial em substituição à areia natural. O primeiro aspecto é de ordem ambiental, pois o uso dos rejeitos dos agregados graúdos na fabricação de areia artificial e a diminuição da utilização de areia natural nas construções irão reduzir a extração deste material do meio ambiente. O segundo aspecto é de ordem econômica, pois uma das grandes vantagens da areia artificial é que sua produção pode ser realizada no canteiro das pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos, o que reduz o custo da matéria-prima para seu mercado consumidor já que, pela exaustão das áreas próximas aos grandes centros os mineradores, são obrigados a extrair areias em locais cada vez mais distantes onerando, assim, o preço final do produto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Cimento Portland

Segundo Petrucci, (1998),

“o concreto é um material de construção constituído por mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água. Quando recém misturado, deve oferecer condições tais de plasticidade que facilitem as operações de manuseio indispensáveis ao lançamento nas formas, adquirindo com o tempo, pelas reações que então se processarem entre aglomerante e água, coesão e resistência”.

Conforme Mehta et al, (1994),

“a resistência do concreto é a propriedade mais valorizada pelos engenheiros projetistas e de controle de qualidade. Nos sólidos existe uma relação fundamental inversa entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência. Consequentemente, em materiais de várias fases como o concreto, a porosidade de cada componente ou fase de sua estrutura pode se tornar um fator limitante da resistência. Os agregados naturais são geralmente densos e resistentes; portanto, a porosidade da matriz, que é a pasta de cimento endurecido, bem como a zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo é que normalmente determinam a característica de resistência dos concretos usuais”.

Embora o fator água/cimento seja o mais importante na determinação de ambas as porosidades, da matriz e da zona de transição e, da resistência do concreto, fatores como adensamento, condições de cura (grau de hidratação do cimento), dimensões e mineralogia do

agregado, aditivos, geometria e condições de umidade do corpo de prova, tipo de tensão e velocidade de carregamento podem também ter um efeito importante sobre a resistência.

Segundo a ABCP (2002), “cimento Portland é a denominação convencional mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento”, ou seja, a qualquer cimento denomina-se “cimento Portland” porque este aglomerante, descoberto por Joseph Aspdin em 1824, após sua mistura com água e correspondente endurecimento, resulta em uma massa pétreia semelhante em cor, solidez e durabilidade ao calcário da Ilha Inglesa de Portland.

O cimento Portland é composto de *clínquer* e de adições. O clínquer é seu principal componente, que tem como matéria-prima o calcário e a argila. Este componente reage quimicamente na presença da água, primeiramente tornando-se pastoso e em seguida endurecendo, adquirindo elevada resistência e durabilidade. As adições são outras matérias-primas, como o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânico e os materiais carbonáticos, que misturadas ao clínquer na fase da moagem permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento portland disponíveis no mercado.

No Quadro 1 estão citados os tipos de cimentos portland existentes atualmente no mercado brasileiro com as suas respectivas siglas de identificação.

| NOME | SIGLA (Estampada na embalagem) |
|--|---------------------------------------|
| Cimento Portland comum com adição | CP I-S-32 |
| Cimento Portland composto com escória | CP II-E-32 |
| Cimento Portland composto com pozolana | CP II-Z-32 |
| Cimento Portland composto com filer | CP II-F-32 |
| Cimento Portland de alto forno | CP III-32 |
| Cimento Portland pozolânico | CP IV-32 |
| Cimento Portland de alta resistência inicial | CP V-ARI |

Quadro 1 – Tipos de Cimento Portland existentes atualmente no mercado brasileiro

Além dos tipos citados no Quadro 1 existem o cimento Portland de resistente aos sulfatos, cimento Portland de baixo calor de hidratação, cimento Portland branco (cimento Portland branco estrutural e cimento Portland branco não estrutural) e cimento para poços petrolíferos.

A fabricação do cimento Portland exige grandes e complexas instalações industriais, como um possante forno giratório que chega a atingir temperaturas próximas a 1500°C. De acordo com ABCP (2002), “existem no Brasil 56 fábricas de cimento portland e todas elas atendem às exigências das normas técnicas de produção e de qualidade”.

Em sua embalagem original - sacos de 50 kg - o cimento pode ser armazenado por cerca de três meses, desde que o local seja fechado coberto e seco. Além disso, o cimento deve ser estocado sobre estrados de madeira, em pilhas de 10 sacos, no máximo.

2.1.2 Agregados

Conceituado por Petrucci (1998), agregado é “o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia”. Este material desempenha importante papel nas argamassas e concretos, quer sob o ponto de vista econômico, quer sob ponto de vista técnico, exercendo influência benéfica sobre algumas propriedades importantes como: retração e resistência ao desgaste por abrasão, sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos.

A fase agregado é a principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. A massa específica do agregado graúdo

influi diretamente na massa específica do concreto, sendo também diretamente proporcional à resistência do concreto, isto é, quanto maior a porosidade (índice de vazios) do agregado, menor será sua resistência tornando-se o elo fraco da mistura.

Segundo Buttler (2003),

“as características do agregado, como granulometria e textura, também influem embora de maneira menos significativa, nas propriedades do concreto. Para agregados com grande diâmetro característico ou de forma lamelar ocorre a formação de um filme de água junto às paredes do agregado (exsudação interna), enfraquecendo sua ligação com a pasta, por outro lado, agregados de diâmetros menores aumentam a superfície de contato entre o agregado e a pasta de cimento elevando a resistência do concreto”.

Os agregados podem ser classificados da seguinte maneira:

- Quanto à origem: São denominados naturais àqueles que são extraídos da natureza na forma de fragmentos como areia e pedregulho. Os artificiais são os que passam por processo de fragmentação, como pedra e areia britada.
- Quanto à densidade: Têm-se agregados leves (pedras pomes, vermiculita, argila expandida, etc.), agregados pesados (barita, magnetita, limonita, etc.) e agregados normais (areia, pedregulhos e pedra britada).
- Quanto ao tamanho dos fragmentos: Agregados graúdos (diâmetro mínimo superior a 4,8mm) e agregados miúdos (diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8mm).

2.1.2.1 Agregado Miúdo - Areia Natural

Segundo a ABNT (1983), “o agregado miúdo ou areia natural é o material particulado de origem mineral no qual predomina o quartzo de diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e fica retido na peneira ABNT 0,75 mm”.

As areias podem ser extraídas dos rios, de cava e de britagem. Nos leitos dos rios as areias são retiradas dos depósitos sedimentares através de sucção, que bombeiam a água, contendo cerca de 5 a 10% de areia, para lagoas de decantação. Já as areias de cava são extraídas por escavação mecânica ou desmonte hidráulico dos depósitos aluvionares em fundos de vales, cobertos por capa de solo.

De acordo com Petrucci (1998), tem-se a definição da areia como “material granular, sem forma e volume definido, geralmente inerte, com dimensões, características e propriedades adequadas ao uso da engenharia civil”.

Considerando o exposto acima convêm mencionar que areia natural é um agregado miúdo constituído de misturas de partículas de extensa gama de tamanhos, classificados em areia fina, média e grossa.

2.1.2.2 Agregado Miúdo - Areia Artificial

A areia artificial ou areia industrial é um produto derivado da rocha que passa por um processamento de britagem até atingir a granulometria desejada. Após a perfuração da

rocha, de acordo com o plano de fogo, as pedras são transportadas até o conjunto de britagem até que atinjam granulometria menor que 4,8 mm. Na maioria dos processos industriais, este produto é conduzido até os equipamentos de lavagem que retiram do produto final os finos excedentes.

Segundo Tiecher (2003), “a areia artificial é um produto alternativo, que causa menor degradação ao meio ambiente. Se utilizada para levantamento de alvenarias denota maior aderência que a areia natural, pois possui grãos mais angulosos e ásperos”.

De acordo com Petrucci, (1998),

“as melhores areias artificiais são as que provêm de granitos e pedras com grande proporção de sílica. As areias provenientes de basalto apresentam, em geral, muitos grãos em forma de placa ou agulha, que irão produzir argamassas ásperas, geralmente as menos trabalháveis, proporcionando maior aderência que a areia natural”.

Dependendo da sua granulometria a areia artificial possui diversos usos, quais sejam:

- Areia média fina (0,075 – 1,20)mm: Argamassa para levantamento de alvenarias e reboco e serviços em que são utilizadas as argamassas em geral;
- Areia média grossa (0,075 – 4,80)mm: Concretos estruturais confeccionados em obras e pré-fabricados e serviços em que são utilizados os concretos em geral; e
- Granilha de 4,80mm com pequena porcentagem de finos (<0,075): Salpique para reboco de alvenarias, asfaltos em geral, blocos pré-fabricados em geral e concretos compactados a rolo.

Cabe destacar, ainda, que a areia artificial é considerada um produto alternativo com melhor custo/benefício, em termos de redução de matéria-prima e custo total da obra,

justamente porque sua produção pode ser realizada nos canteiros das pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos.

Na Figura 1 apresenta-se o britador que produz areia artificial na Britadeira Farroupilha Ltda, empresa de britagem de Passo Fundo/RS.



Figura 1 - Britador que produz a areia artificial

2.1.2.3 Agregado Graúdo

O agregado graúdo pode ser de origem natural, pedregulho ou seixo, ou de origem artificial, pela trituração mecânica de rochas, pedra britada e cascalho.

É importante considerar que para a obtenção dos agregados com melhor qualidade deve-se utilizar rochas estáveis, que são inalteráveis sob a ação do ar, da água ou do

gelo. Por outro lado deve-se evitar a utilização de rochas feldspáticas ou de xisto, que se decompõem sob a ação do ar ou da água.

De acordo com Petrucci (1998), “a forma dos grãos dos agregados pode ser arredondada, como os seixos, ou de forma angular e de arestas vivas com faces mais ou menos planas, como a pedra britada”. Esta forma geométrica dos agregados graúdos tem grande importância como fator de qualidade dos concretos.

2.1.3 Água

Segundo Petrucci (1998), “é usual dizer-se que toda a água que serve para beber pode ser utilizada na confecção de concretos”. A recíproca, porém, não é verdadeira, pois muitas águas utilizáveis sem dano no concreto não podem ser ingeridas pelo homem.

No entanto, é importante impor cuidado com a água utilizada no amassamento do concreto, para que não contenha impurezas que possam prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento. Da mesma forma a qualidade da água de cura deve ser estimada por critérios ainda mais rígidos para que não haja neste processo a renovação de agentes agressivos ao concreto. Isso indica que a utilização de uma determinada água deve ser comprovada tecnicamente sempre que forem utilizados cimentos especiais.

2.1.4 Métodos de Dosagem

A heterogeneidade dos materiais que compõe os concretos e a complexidade do seu comportamento, tanto no estado fresco quanto no endurecido, representa sempre um desafio aos técnicos responsáveis pela fabricação e emprego dos concretos.

Helene (1993), explica que a “postura com relação ao proporcionamento dos materiais e sua influência no comportamento dos conglomerados foi alterando-se a partir do século XIX, quando da descoberta do cimento Portland e sua fabricação em escala comercial”. Este proporcionamento dos componentes de concreto é conhecido como traço e pode ser indicado pelas proporções em peso ou em volume. Em geral adota-se uma indicação mista: o cimento em peso e os agregados em volume, tomando-se o cimento como unidade, e relacionando as demais quantidades a sua quantidade.

O traço pode ser determinado das seguintes maneiras:

- Traço em peso, referido ao kg de cimento, obtendo-se o teor unitário;
- Traço em peso, referido ao saco de cimento;
- Traço em peso, referido ao consumo de cimento para produção em m^3 de concreto;
- Traço dos agregados em volume, referido ao kg de cimento;
- Traço em volume, referido ao litro de cimento;
- Traço em volume, referido ao saco de cimento, utilizado comumente em obras;

- Traço em volume, referido à quantidade de cimento por metro cúbico de concreto, utilizado para levantamento de custos.

O teor de argamassa utilizado no concreto é fator fundamental para se encontrar uma dosagem ideal, a partir do tipo de cimento e agregados escolhidos, para estabelecer uma composição que dê o melhor resultado com o menor custo. Portanto, a dosagem deve obedecer a métodos racionais, comprovados na prática, e que respeitem as normas técnicas vigentes.

3 METODOLOGIA

A partir da intenção de compreender o comportamento do concreto de cimento Portland com substituição de areia natural por areia artificial buscou-se, junto a empresas da região, os materiais necessários para o desenvolvimento desta pesquisa. Os apoiadores foram Ivan C. Paim e Cia Ltda, empresa de britagem, de Ijuí/RS, que forneceu o agregado graúdo; a Britadeira Farroupilha Ltda, empresa de britagem de Passo Fundo/RS, que forneceu a areia artificial; a Votoran Cimentos de Passo Fundo/RS que contribuiu com a doação do cimento Portland CP II-Z; e a Empresa Fauro Materiais de Construção Ltda, de Ijuí/RS que forneceu areia natural de várzea proveniente de Santa Maria/RS.

Os ensaios de caracterização dos materiais foram realizados seguindo as recomendações das Normas Brasileiras (NBRs), no Laboratório de Engenharia Civil – LEC da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.

Inicialmente foi realizada a caracterização dos materiais através de ensaios de granulometria segundo prescreve a NBR 7217, lameralidade e dosagem da mistura.

A amostra do estudo está subdividida da seguinte forma:

- 01 dosagem de referência para concretos de f_{cj} de 32 e 45 MPa;

- 01 dosagem com substituição de 25% de areia artificial para concretos de fe_j de 32 e 45 MPa;
- 01 dosagem com substituição de 50% de areia artificial para concretos de fe_j de 32 e 45 MPa;

3.1 PROCESSO DE DOSAGEM

O método de dosagem adotado foi do IPT que conforme Helene (1993), “é muito simples, pois se baseia na experiência do profissional”.

3.1.1 Definição dos Traços Básicos

O estudo experimental partiu da avaliação preliminar da mistura em betoneira do traço 1:5 (cimento/agregado, em massa). Com base nas informações obtidas desta mistura confeccionaram-se mais três traços. Conforme Helene (1993), caracteriza-se o traço 1:3,5 como traço rico; 1:5,0 como traço piloto e 1:6,5 como traço pobre. Para este trabalho o autor criou o traço intermediário com 1:4,0.

3.1.2 Determinação do Teor de Argamassa

O objetivo é determinar o teor ideal de argamassa, através de tentativas e observações práticas. Helene, (1993), “define como uma das fases mais importantes do estudo

de dosagem, pois é a que determina a adequabilidade do concreto quando lançado na fôrma. A falta de argamassa na mistura acarreta porosidade no concreto ou falhas de concretagem”. O excesso proporciona um concreto de melhor aparência, mas aumenta o custo por metro cúbico assim como o risco de fissuração por origem térmica e por retração de secagem.

Portanto, foi determinado o teor ideal de argamassa na mistura do concreto para o traço 1:5,0 para referência e substituições de 25 e 50% indicados anteriormente através de tentativas e observações práticas.

No Quadro 2 é apresentada a determinação do teor ideal de argamassa para o traço 1:5,0, traço de referência. Já na Tabela 1 apresenta-se o teor ideal de argamassa e fator Água/Cimento para o traço 1:5,0 para referência e substituições de 25 e 50% de areia artificial.

| | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|-------|------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|
| TRAÇO INICIAL | | 1/5,0 | | | | | |
| TEOR INICIAL (%) | | 42 | | | | | |
| | | | | AREIA | | CIMENTO | |
| TEOR | TRAÇO UNITÁRIO | | | Massa Total | Acréscimo na Mistura | Massa Total | Acréscimo na Mistura |
| % | (1:a:p) | | | Kg | Kg | Kg | Kg |
| 42 | 1 | 0,89 | 2,61 | 10,23 | 1,44 | 11,49 | 0,41 |
| 44 | 1 | 0,98 | 2,52 | 11,67 | 1,54 | 11,90 | 0,44 |
| 46 | 1 | 1,07 | 2,43 | 13,21 | 1,66 | 12,35 | 0,47 |
| 48 | 1 | 1,16 | 2,34 | 14,87 | 1,79 | 12,82 | 0,51 |
| 50 | 1 | 1,25 | 2,25 | 16,67 | 1,94 | 13,33 | 0,56 |
| 52 | 1 | 1,34 | 2,16 | 18,61 | 2,11 | 13,89 | 0,60 |
| TEOR DE ARGAMASSA ADOTADO (%): | | | | 50 | | | |
| FATOR A/C FINAL | | | | 0,49 | | | |

Quadro 2 – Determinação do teor ideal de argamassa para o traço 1:5,0 (referência)

Tabela 1

Teor ideal de argamassa e fator Água/Cimento

| | REFÊRENCIA | SUBSTITUIÇÃO DE 25% | SUBSTITUIÇÃO DE 50% |
|--------|------------|---------------------|---------------------|
| Teor % | 50 | 50 | 52 |
| A/C | 0,49 | 0,50 | 0,527 |

3.1.3 Cálculo das Quantidades e Moldagem dos Traços Básicos

Determinado o teor de argamassa, iniciaram-se as caracterizações dos materiais empregados no concreto. O cálculo das quantidades é de fundamental importância porque dele depende a economia que pode ser obtida, já que os resultados demonstram exatamente a resistência e a plasticidade desejada, gastando-se exatamente a quantidade de material necessário.

Realizaram-se ensaios de massa unitária e massa específica do aglomerante, dos agregados miúdos (areia natural e artificial) e agregado graúdo, conforme as normas técnicas brasileiras referentes.

O ensaio do índice de remoldagem de Powers (VERÇOZA, 1995), executado para regular a trabalhabilidade foi substituído pelo “Slump Test”, conforme prescreve a NBR 7223 (1996). Todos os traços foram realizados com o mesmo intervalo de abatimento, fixado em 7 ± 1 cm. Nos traços referência, a relação 1:m (cimento: soma de agregados secos, em massa) foi mantida constante em 1:5,0., seguindo-se a mesma sistemática nos traços com substituição 25 e 50% de areia natural por areia artificial. Já para o consumo de cimento e a relação água cimento não foram fixados para o cálculo neste momento.

Através do teor ideal de argamassa foram encontradas as quantidades necessárias dos materiais para mistura na betoneira correspondente a cada traço. No Quadro 3 encontra-se a quantidade de material para os traços base.

| Teor | | Traços Auxiliares Unitários | | | | | Traços Auxiliares Moldagem (Kg) | | | | |
|------------|---------|-----------------------------|------------|-------|-------|---------|---------------------------------|------------|-------|-------|-------|
| Base | Cimento | Areia | | | Pedra | Cimento | Areia | | | Pedra | |
| | | Natural | Artificial | Total | | | Natural | Artificial | Total | | |
| Referência | 1/3,5 | 1 | 1,25 | 0,00 | 1,25 | 2,25 | 22,11 | 27,63 | 0,00 | 27,63 | 49,74 |
| | 1/4,0 | 1 | 1,50 | 0,00 | 1,50 | 2,50 | 19,90 | 29,84 | 0,00 | 29,84 | 49,74 |
| | 1/5,0 | 1 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 3,00 | 16,58 | 33,16 | 0,00 | 33,16 | 49,74 |
| | 1/6,5 | 1 | 2,70 | 0,00 | 2,75 | 3,75 | 13,26 | 36,47 | 0,00 | 36,47 | 49,74 |
| 25% | 1/3,5 | 1 | 0,94 | 0,31 | 1,25 | 2,25 | 22,11 | 20,72 | 6,91 | 27,63 | 49,74 |
| | 1/4,0 | 1 | 1,13 | 0,37 | 1,50 | 2,50 | 19,90 | 22,38 | 7,46 | 29,84 | 49,74 |
| | 1/5,0 | 1 | 1,50 | 0,50 | 2,00 | 3,00 | 16,58 | 24,87 | 8,29 | 33,16 | 49,74 |
| | 1/6,5 | 1 | 2,06 | 0,69 | 2,75 | 3,75 | 13,26 | 27,36 | 9,11 | 36,47 | 49,74 |
| 50% | 1/3,5 | 1 | 0,65 | 0,65 | 1,30 | 2,20 | 22,11 | 14,81 | 14,81 | 29,62 | 47,75 |
| | 1/4,0 | 1 | 0,80 | 0,80 | 1,60 | 2,40 | 19,90 | 19,92 | 15,92 | 35,84 | 47,75 |
| | 1/5,0 | 1 | 1,05 | 1,05 | 2,10 | 2,90 | 16,58 | 17,57 | 17,57 | 35,14 | 47,75 |
| | 1/6,5 | 1 | 1,45 | 1,45 | 2,90 | 3,60 | 13,26 | 19,23 | 19,23 | 38,46 | 47,75 |

Quadro 3 – Quantidade de Material para os Traços Base

3.1.4 Determinação Água/Cimento (A/C) e Umidade (H)

Segundo Helene (1993),

“uma fase bastante importante no processo de dosagem do concreto de cimento portland é a de determinar a correlação existente entre resistência à compressão axial e relação água/cimento. A definição do traço inicial do concreto fica bastante prejudicada, sendo necessário esperar a ruptura dos corpos de prova à idade de 28 dias, para obter esta correlação”.

Como a areia artificial apresenta absorção elevada devido à grande quantidade de finos foi fixada a umidade em torno de 8,5%.

3.1.5 Resultados de Resistência à Compressão

A Tabela 2 apresenta os resultados de resistências à compressão dos traços básicos para cada concreto investigado, para determinação dos traços para $f_{cj} = 32$ MPa e $f_{cj} = 45$ MPa, para concretos de referência, concretos com substituição de areia natural por artificial em teores de 25 e 50% .

Tabela 2

Resultado de Resistência à Compressão dos traços básicos

| AMOSTRA | CONCRETO DE REFERÊNCIA | | | | CONCRETO SUB. 25% | | | | CONCRETO SUB. 50% | | | |
|---------|------------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| | 1:3,5 | 1:4,0 | 1:5,0 | 1:6,5 | 1:3,5 | 1:4,0 | 1:5,0 | 1:6,5 | 1:3,5 | 1:4,0 | 1:5,0 | 1:6,5 |
| 7 | 36,51 | 38,92 | 35,3 | 24,58 | 38,13 | 34,38 | 34,97 | 25,22 | 40,62 | 36,31 | 31,96 | 21,07 |
| 14 | 41,59 | 40,97 | 35,54 | 26,32 | 44,19 | 38,1 | 39,87 | 29,53 | 45,43 | 42,32 | 35,72 | 23,5 |
| 21 | 48,12 | 45,67 | 41,4 | 29,83 | 44,16 | 44,19 | 42,44 | 31,53 | 48,35 | 45,24 | 40,21 | 27,2 |
| 28 | 48,99 | 51,24 | 44,26 | 30,25 | 45,58 | 44,07 | 41,26 | 31,84 | 50,49 | 49,37 | 42,66 | 28,44 |

3.1.6 Definição dos Traços para Concretos de 32 e 45 MPa

Para a determinação dos traços com $f_{cj} = 32$ e 45 MPa utilizou-se o resultado da resistência à compressão aos 28 dias, conforme mostra a tabela 2. No Quadro 4 estão apresentados os cálculos utilizados para encontrar os traços de referência. Já no Quadro 5, para substituição de 25% de areia artificial e, no Quadro 6, para substituição de 50% de areia artificial.

| Dosagem de Referência | | | | | | |
|-----------------------|-------|----------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| a = 1 | | b = -x | | L = Log | | fc = A/B |
| traço | fc28 | a.a | b.b | a.b | a.l | b.l |
| 3,5 | 48,99 | 1 | 0,162409 | -0,403 | 1,690107 | -0,68111 |
| 4 | 51,24 | 1 | 0,1849 | -0,43 | 1,709609 | -0,73513 |
| 5 | 44,26 | 1 | 0,226576 | -0,476 | 1,646011 | -0,7835 |
| 6,5 | 30,25 | 1 | 0,374544 | -0,612 | 1,480725 | -0,9062 |
| Σ | | 4 | 0,948429 | -1,921 | 6,526453 | -3,10595 |

$f_c = A/B^x$
 $\text{Log A} = \frac{\sum b^2 \cdot \sum a \cdot 1 - \sum a \cdot b \cdot \sum b \cdot l}{\sum a^2 \cdot \sum b^2 - (\sum a \cdot B)^2}$ $\text{Log B} = \frac{\sum b^2 \cdot \sum a \cdot 1 - \sum a \cdot b \cdot \sum b \cdot l}{\sum a^2 \cdot \sum b^2 - (\sum a \cdot B)^2}$

$\text{Log A} = \frac{0,2233466}{0,103475} \quad \mathbf{2,158459}$ $\text{Log B} = \frac{0,1135146}{0,103475} \quad \mathbf{1,097024}$

$x = \frac{\log 32 - \log A}{\log B} \quad x(32) = \frac{1,505149 - 2,158459}{1,097024} \quad 0,60044$

$m = \frac{(100 \cdot (-X)) - 1}{8,5} \quad x(45) = \frac{1,653212 - 2,158459}{1,097024} \quad 0,444485$

$m = \frac{100 \cdot (0,59533) - 1}{8,5} \quad m = \frac{100 \cdot (0,444485) - 1}{8,5}$

$\mathbf{m = 1:6,00 (32 MPa)} \quad \mathbf{m = 1:4,23 (45 MPa)}$

Quadro 4 - Definição dos Traços de Referência para Dosagem de 32 e 45 MPa

| Dosagem com Substituição de 25% | | | | | | |
|---------------------------------|-------|----------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| traço | fc28 | a.a | b.b | a.b | a.l | b.l |
| 3,5 | 45,58 | 1 | 0,178608 | -0,42262 | 1,658774 | -0,70103 |
| 4 | 44,07 | 1 | 0,185038 | -0,43016 | 1,644143 | -0,70724 |
| 5 | 41,26 | 1 | 0,237617 | -0,48746 | 1,615529 | -0,78751 |
| 6,5 | 31,84 | 1 | 0,370759 | -0,6089 | 1,502973 | -0,91516 |
| Σ | | 4 | 0,972022 | -1,94914 | 6,42142 | -3,11094 |

$\text{Log A} = 2,002447$ $x(32) = 0,61025$ $m=1:5,78$ **(32MPa)**
 $\text{Log B} = 0,814908$ $x(45) = 0,42856$ $m=1:3,76$ **(45MPa)**

Quadro 5 - Definição dos traços de substituição de 25% de areia artificial para dosagem de 32 e 45 MPa

| Dosagem com Substituição de 50% | | | | | | |
|--|-------------|------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| traço | fc28 | a.a | b.b | a.b | a.l | b.l |
| 3,5 | 50,49 | 1 | 0,185459 | -0,43065 | 1,703205 | -0,73349 |
| 4 | 49,37 | 1 | 0,220759 | -0,46985 | 1,693463 | -0,79567 |
| 5 | 42,66 | 1 | 0,289455 | -0,53801 | 1,630021 | -0,87697 |
| 6,5 | 28,44 | 1 | 0,44945 | -0,67041 | 1,45393 | -0,97473 |
| Σ | | 4 | 1,145123 | -2,10892 | 6,480619 | -3,38086 |
| Log A = 2,189966 | | x(32) = 0,63364 | | m=1:6,04 (32MPa) | | |
| Log B = 1,080764 | | x(45) = 0,49664 | | m=1:4,52 (45MPa) | | |

Quadro 6 - Definição dos traços de substituição de 50% de areia artificial para dosagem de 32 e 45 MPa

No Quadro 7 está ilustrada a quantidade de material para os traços definitivos de referência, de substituição de 25 e 50% de areia artificial para fcj de 32 e 45 MPa.

| Teor | | Traços Auxiliares Unitários | | | | | Traços Auxiliares Moldagem (Kg) | | | | |
|------------|--------|-----------------------------|---------|------------|-------|-------|---------------------------------|---------|------------|-------|-------|
| Base | | Cimento | Areia | | | pedra | Cimento | Areia | | | pedra |
| | | | Natural | Artificial | Total | | | Natural | Artificial | Total | |
| Referência | 1/6,00 | 1 | 2,50 | 0,00 | 2,50 | 3,50 | 14,09 | 35,65 | 0,00 | 35,65 | 49,74 |
| | 1/4,23 | 1 | 1,60 | 0,00 | 1,60 | 2,60 | 19,02 | 30,72 | 0,00 | 30,72 | 49,74 |
| 25% | 1/5,78 | 1 | 1,79 | 0,60 | 2,39 | 3,39 | 18,07 | 32,38 | 10,80 | 43,18 | 61,25 |
| | 1/3,76 | 1 | 1,03 | 0,35 | 1,38 | 2,38 | 25,74 | 26,63 | 8,88 | 35,51 | 61,25 |
| 50% | 1/6,04 | 1 | 1,33 | 1,33 | 2,66 | 3,38 | 18,82 | 25,04 | 25,04 | 50,08 | 63,60 |
| | 1/4,52 | 1 | 0,93 | 0,93 | 1,86 | 2,65 | 24,01 | 22,44 | 22,44 | 44,88 | 63,60 |

Quadro 7 – Quantidade de material para os traços definitivos

3.2 MOLDAGEM DE CONTROLE – TRAÇO DE REFERÊNCIA E TRAÇOS COM TEORES DE SUBSTITUIÇÃO DE 25% E 50% DE AREIA ARTIFICIAL

Após a determinação dos traços de dosagens para feij 32 e 45 MPa, foram fabricados os referidos traços. Em seguida, foram montados 10 corpos de prova (CPs) cilíndricos de 15x30cm com três camadas de 25 golpes com a haste de socamento, para ruptura às idades de 07 dias (2 cp), 14 dias (2 cp), 21 dias (2 cp) e 28 dias, 90 dias (2 cp).

Este procedimento foi realizado para o concreto de referência, para os concretos com substituição parcial de 25% de areia artificial e para os concretos com substituição parcial de 50% de areia artificial.

A Figura 2 demonstra o lançamento dos materiais na betoneira na realização da dosagem experimental realizada no LEC.



Figura 2 – Lançamento dos materiais na betoneira

Na Figuras 3 apresenta-se o aspecto da aparência do concreto da mistura inicial, demonstrando que a superfície é bastante áspera pela falta de argamassa. Já na Figura 4 na qual é visualizado o aspecto da superfície do concreto, observa-se, que é compacta sem apresentar vazios, indicando que o teor de argamassa do concreto é adequado.



Figura 3 – Aspecto da aparência do concreto da mistura inicial



Figura 4 – Aspecto da superfície do concreto

Na Figura 5 apresenta-se a determinação da consistência da mistura inicial (slump test), observa-se a superfície é compacta, praticamente sem apresentar vazios. Este aspecto indica um concreto com o teor ideal de argamassa.



Figura 5 – Determinação da consistência da mistura inicial (slump test)

Na Figura 6 apresenta-se o rompimento do corpo-de-prova (resistência à compressão aos 28 dias).



Figura 6 – Rompimento do corpo-de-prova (resistência à compressão aos 28 dias).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E CONSUMO DE CIMENTO

A Tabela 3 apresenta o resultado da relação água/cimento e do consumo de cimento. Já a Figura 7 demonstra os teores de substituição x fator água/cimento e a Figura 8, o consumo de cimento x teores de substituição para resistência à compressão de 32 e 45 MPa.

Tabela 3
Resultado água/cimento e consumo de cimento

| Amostra | Referência | | Substituição 25% | | Substituição 50% | |
|------------------------|------------|---------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| | Ref. 32 | Ref. 45 | Sub. 25% 32 | Sub. 25% 45 | Sub. 50% 32 | Sub. 50% 45 |
| Traço | 32 | 45 | 32 | 45 | 32 | 45 |
| C (kg/m ³) | 333,57 | 443,07 | 344,9 | 485,18 | 327,02 | 420,15 |
| A/C | 0,56 | 0,43 | 0,57 | 0,42 | 0,62 | 0,48 |

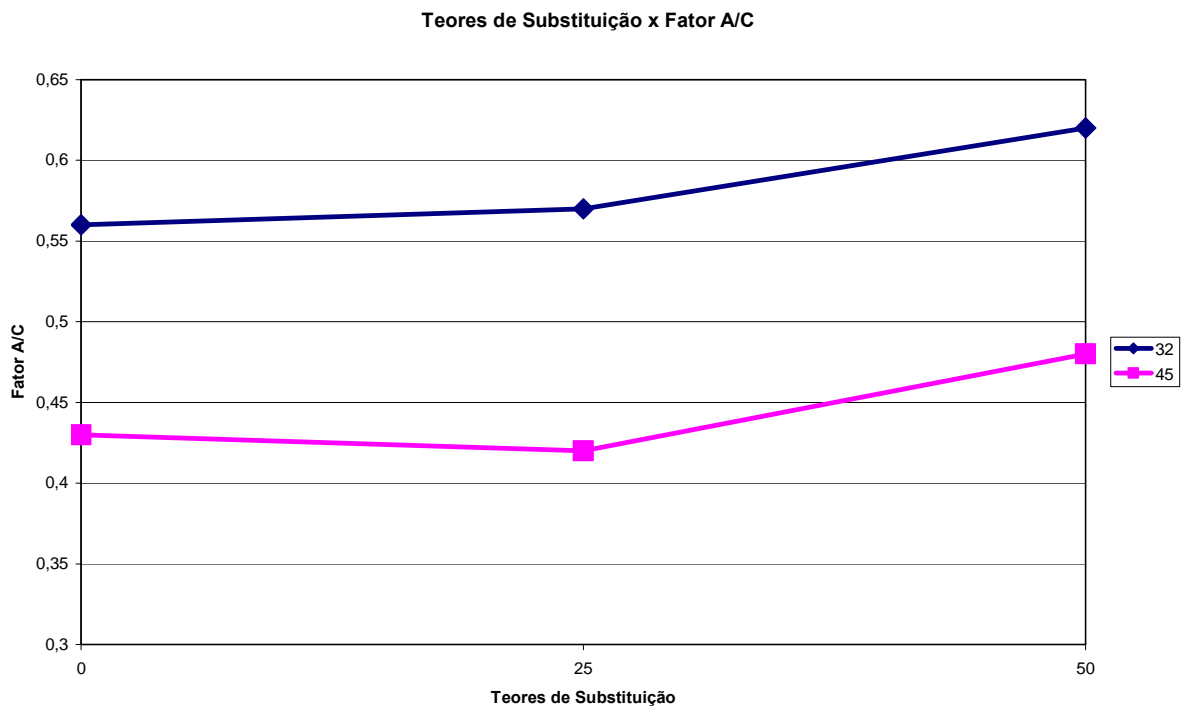


Figura 7 – Teores de substituição x fator A/C

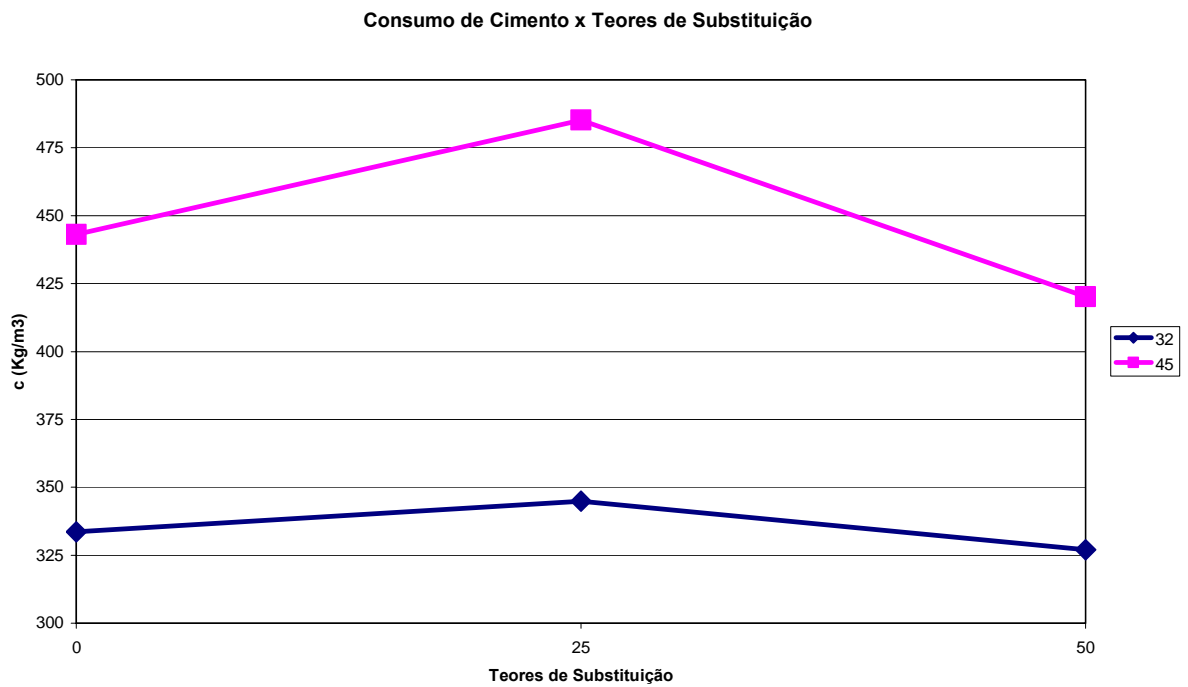


Figura 8 - Consumo de cimento x teores de substituição

Comparando o consumo de cimento do traço de referência com o dos concretos fabricados com areia artificial, nas substituições de 25 e 50%, para resistências de compressão de 32 e 45 MPa, nota-se que os resultados estão muito próximos. A exceção ocorreu no traço com substituição de 25% de areia artificial, para concreto de resistência de 45 MPa, cujo consumo ($485,18 \text{ Kg/m}^3$) foi superior ao traço de referência ($443,07 \text{ Kg/m}^3$). No traço de referência o consumo de cimento foi 9,50% inferior, representando $42,11 \text{ Kg/m}^3$ a menos. Caso fossem usados, como parâmetros, nesta pesquisa, consumos iguais de cimento, certamente a resistência à compressão do traço com 25% de areia artificial apresentaria valor ainda mais próximo ao do traço de referência.

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na análise dos resultados, comparou-se o traço de referência com concretos empregando-se: substituição de 25 e 50% de areia artificial. Na Tabela 4 e nas Figuras 9 e 10 apresentam-se os resultados de resistências à compressão correspondentes a cada uma das idades de rompimento.

Tabela 4
Resultado de resistência à compressão

| IDADE | | | | |
|------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| AMOSTRA | 7 DIAS | 14 DIAS | 21 DIAS | 28 DIAS |
| REF. 32 MPa | 28,96 | 31,52 | 34,71 | 34,82 |
| SUB. 25% 32 MPa | 28,44 | 32,81 | 36,10 | 38,06 |
| SUB. 50% 32 MPa | 25,67 | 30,32 | 33,50 | 34,80 |
| REF. 45 MPa | 33,30 | 36,48 | 40,49 | 45,43 |
| SUB. 25% 45 MPa | 36,09 | 42,26 | 45,36 | 50,83 |
| SUB. 50% 45 MPa | 32,76 | 40,44 | 42,48 | 46,23 |

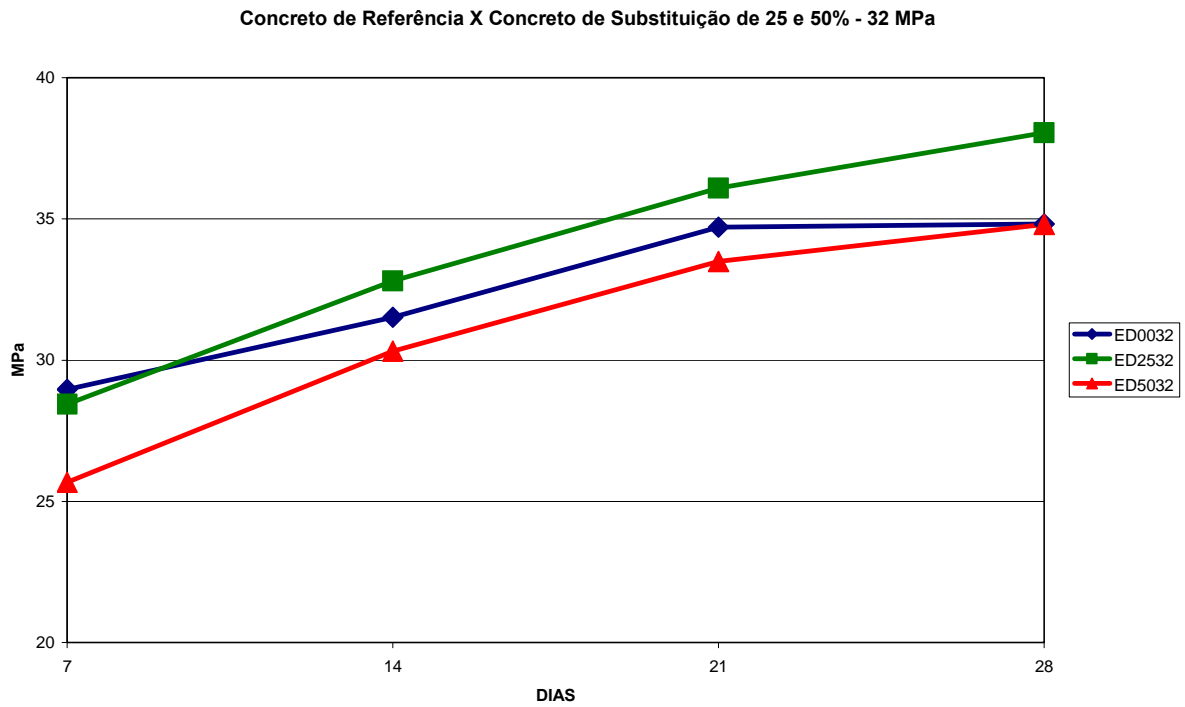


Figura 9 – Evolução da resistência à compressão em função do tempo para f_{cj} 32 MPa

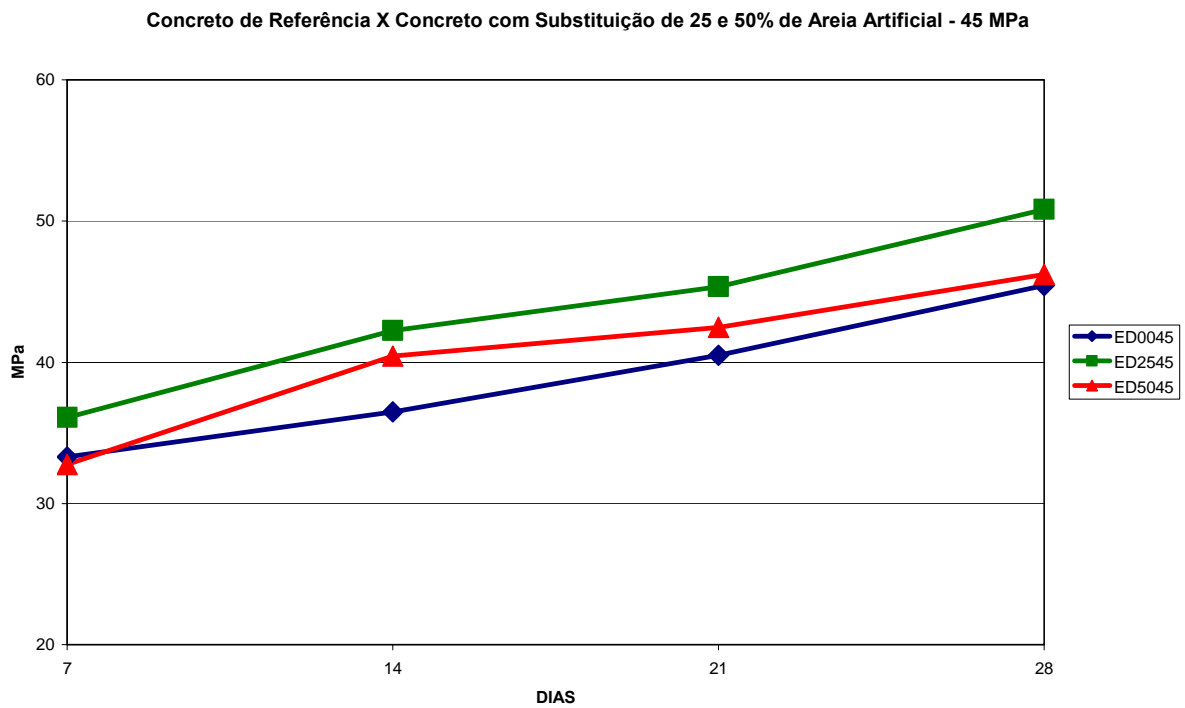


Figura 10 – Evolução da resistência à compressão em função do tempo para f_{cj} 45 MPa

Observa-se que, para os concretos fabricados com areia artificial com substituição de 25% de areia natural por artificial, foram obtidos resultados superiores ao concreto de referência, praticamente em todas as idades investigadas. Os concretos com substituição de 50% de areia artificial obtiveram resultados inferiores que a referência para fcj 32 MPa e se mantiveram próximos a referência para fcj 45 MPa.

A substituição de 25% de areia artificial para fcj 45 MPa apresenta uma resistência, aos 28 dias, de 11,88% maior que o concreto de referência. Na Tabela 5 apresenta-se o desvio relativo de crescimento da resistência entre as idades de 7, 14, 21 e 28 dias em função da idade para fcj 32 e 45 MPa.

Tabela 5
Idades x desvio relativo

| AMOSTRA | IDADE | | | |
|---------|--------|---------|---------|---------|
| | 7 DIAS | 14 DIAS | 21 DIAS | 28 DIAS |
| 25/32 | 1,79 | 4,05 | 4,00 | 9,30 |
| 25/45 | 8,38 | 15,84 | 12,03 | 11,89 |
| 50/32 | 11,35 | 4,68 | 3,49 | 0,06 |
| 50/45 | 1,62 | 10,86 | 4,91 | 1,76 |

A faixa de resistência à compressão, aos 28 dias, foi de 34 a 45 MPa para os concretos de referência; de 38 a 50 MPa, para os concretos com substituição de 25% de areia artificial e; de 34 a 46 MPa para os concretos com substituição de 50%. Portanto, levando em conta apenas as propriedades estudadas, os concretos fabricados com substituição parcial de areia artificial apresentam-se como uma alternativa lucrativa tanto econômica quanto ambientalmente.

5 CONCLUSÃO

A substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial para a produção de concretos baseado no método de dosagem do IPT mostrou-se bastante viável, visto que as resistências à compressão foram superiores ao traço de referência. O estudo baseou-se nas propriedades de trabalhabilidade, no estado fresco e de resistência no estado endurecido.

Constata-se que as características do concreto de cimento Portland no estado fresco e endurecido em termos da aplicabilidade do método proposto pelo IPT não apresentam diferenças significativa. Há que se considerar, no entanto, algumas particularidades na homogeneização dos materiais, uma vez que pela alta concentração de finos, a areia artificial necessita de maior quantidade de água para se obter uma boa trabalhabilidade e, para não aderir às paredes da betoneira e suas pás aumentando o tempo de fabricação. Em função da maior adição de água, o abatimento fixado em 7 ± 1 , muitas vezes não foi alcançado devido à facilidade de perda da consistência no ensaio do concreto.

Os concretos produzidos com areia artificial podem ser aplicados com segurança até teores de 50% de substituição. Na maioria dos casos, os resultados foram superiores aos traços similares fabricados com agregados naturais, consistindo uma opção ambientalmente correta e economicamente viável.

O percentual de ganho de resistência, com idade de 28 dias, foi de 10,6%, em média, para os concretos de f_{cj} de 32 e 45 MPa, para teores de substituição de 25%. Nos concretos de f_{cj} 45 MPa, o consumo de cimento foi de 485,18 kg/m³, 9,5% superior ao traço de referência (443,07 Kg/m³). Apesar dos valores obtidos as diferenças apresentadas no consumo de cimento não servem para justificar ajustes no traço, mas comprovam a eficácia do método utilizado.

Pode-se perceber que a areia artificial necessita maior quantidade de água para se obter boa trabalhabilidade, por isso sugere-se o uso de aditivos para que não haja perda de resistência do concreto.

Conclui-se que os concretos fabricados com areia artificial podem ser utilizados para produção de estruturas de concretos armados vendidos usualmente no mercado, considerando apenas as propriedades estudadas. Entretanto, para confirmar a utilização irrestrita deste material, sugere-se que este tema seja aprofundado em novos estudos, analisando-se outras propriedades que não foram contempladas nesse trabalho, tais como: a composição química dos materiais, o módulo de elasticidade, a retração por secagem, a abrasão, além da realização de um estudo complementar para se avaliar o comportamento, ao longo do tempo, e a durabilidade do material, com a utilização de diferentes teores de substituições de areia artificial, resistência de dosagem diferentes e que seja usado aditivo para manter a resistência à compressão em virtude da quantidade de água para se obter uma trabalhabilidade adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização de cimento portland*. 7 ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: *Agregados para concreto* – NBR 7211 EB 4. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: *Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. NBR 7223. Rio de Janeiro, 1996. 4p.

BUTTLER, Alexandre Marques. *Concreto com agregado graúdos reciclados de concreto – Influência da Idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

Areia Artificial X Impacto Ambiental. Disponível no <www.canalciencia.ibict.br> Acesso em 22 de abril de 2005.

HELENE, Paulo R.L., *Manual de dosagem e controle do concreto* / Paulo Helene, Paulo Terzian, São Paulo: Pini; Brasília, DF: SENAI, 1993.

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, PAULO J.M., *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. Editora Pini Ltda, 1ª Edição. São Paulo, 1994.

PETRUCCI, Eladio G. R., *Concreto de cimento Portland* / Eladio G. R. Petrucci. – 13. ed. rev. por Vladimir Antonio Paulon – São Paulo: Globo, 1998.

TIECHER, Francieli. *Comparação de Concreto Dosado com Areia Natural e Artificial*.

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto - 45º Congresso Brasileiro do Concreto. Vitória
– Espírito Santo, 2003.

VERÇOZA, E.J., *Dosagem de concreto* (Apostila.) Passo Fundo, 1995. p. 42-50.