

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Eduardo Guida Tartuce

**FABRICAÇÃO E CONTROLE DE CONCRETO COM
FINOS RECUPERADOS: UMA OPÇÃO
NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

São Paulo

2006

SUMÁRIO.....	10
1	
INTRODUÇÃO.....	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVO.....	14
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	14
2 O PROCESSAMENTO EM USINAS DE CONCRETO REJEITADO.....	15
2.1 DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO.....	15
2.2 PROCEDIMENTO DE SEPARAÇÃO DOS CONSTITUINTES.....	19
2.3 DESTINAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS	19
2.4 DESTINAÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS.....	20
2.5 DESTINAÇÃO DA ÁGUA	21
2.6 DESTINAÇÃO DOS FINOS.....	22
2.7 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	23
2.7.1 Agregados.....	24
2.7.2 Água com Finos.....	24
2.8 PROCEDIMENTO DE RECICLAGEM DOS COMPONENTES.....	28
3 AVALIAÇÃO DO USO DE ÁGUA COM FINOS NO CONCRETO PREPARADOS EM LABORATÓRIO	30
3.1 METODOLOGIA.....	30
3.1.1 Características do concreto.....	30
3.1.2 Traço do concreto	32
3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE LABORATÓRIO.....	38
4 CARACTERIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA COM FINOS EM USINA DOSADORA DE CONCRETO.....	40
4.1 METODOLOGIA.....	40
4.1.1 Caracterização da usina dosadora.....	40
4.1.1.1 Caracterização do reciclador de agregado.....	42
4.1.1.2 Caracterização do início do estudo de reciclagem.....	44
4.1.2 Procedimento de Formação de Famílias.....	44
4.2. AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO USO DE FINOS NO CONCRETO USINADO.....	45
4.2.1 Metodologia.....	45
4.2.1.1 Caracterização do Teste de Normalidade	46
4.1.2 Caracterização do histograma com curva normal.....	46
4.2.2 Gráficos de Teste de Normalidade	47
4.3 GRÁFICOS DO HISTOGRAMA COM A CURVA NORMAL.....	53
4.4 GRÁFICOS DE SOBREPOSIÇÕES DA CURVA NORMAL	59
5 CONCLUSÃO GERAL DO TRABALHO.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTAR.....	70

ANEXO DOS RESULTADOS OBTIDOS DA CENTRAL DOSADORA

.....72

11

1 INTRODUÇÃO

No mercado atual da construção civil, os valores dos produtos e dos serviços têm

dependido cada vez mais do percentual de inovações e tecnologias a eles incorporadas. Inúmeras dificuldades são encontradas no gerenciamento desses fatores e, por isso, a empresa que souber tratá-las de forma eficiente terá sempre maior vantagem e maior competitividade em relação à concorrência. Num ambiente

marcado pela presença de vários concorrentes, inclusive multinacionais, os ciclos de

inovação têm que ser cada vez mais curtos. A empresa precisa desenvolver produtos e processos com baixos custos, que sejam competitivos e que possuam maior valor agregado. É necessário que a empresa assuma um papel inovador no desenvolvimento das atividades, conforme Santiago & Kalintzis (2004).

Segundo Buttler (2003), a geração de resíduos em um processo de fabricação é inevitável. Quando não há uma tecnologia apropriada para o reaproveitamento ou para a reciclagem de um resíduo, com certeza, o material acabará sendo depositado

na natureza, podendo ocasionar diversos problemas para o meio-ambiente. Em certas situações, o problema talvez não seja a falta de tecnologia para a reciclagem,

mas sim a ausência de uma legislação mais rigorosa que puna os responsáveis pela

deposição dos resíduos na natureza. A falta de conscientização da população com relação à questão também agrava o problema, uma vez que a solução não depende

apenas de ações unilaterais.

Outra questão muito importante que atinge níveis preocupantes é a extração de matérias-primas. O consumo de materiais naturais está aumentando na mesma proporção em que crescem a economia e a população. Segundo Mattos & Wagner (1999), entre 1970 e 1995, o consumo anual de materiais no mundo cresceu de 5,7 bilhões de toneladas para 9,5 bilhões de toneladas.

Os Estados Unidos investem de forma considerável no desenvolvimento de tecnologia para o reaproveitamento de resíduos de concretos provenientes de pavimentos rodoviários. Além dos benefícios ecológicos, a utilização dos agregados

reciclados representa uma redução do custo de transporte, e cria uma nova forma de

comercialização de produtos residuais, que gera importante receita anual. Segundo a ASSOCIATED GENERAL CONTRACTORS (2001), nos Estados Unidos, entre

12

1994 e 1996, o emprego de agregados reciclados de concreto aumentou cerca de 170%, sendo que por volta de 320 km de pavimentos de concreto foram reciclados por ano nesse período. Em torno de quarenta e quatro estados americanos utilizam concreto reciclado como base para rodovias, e muitos desses estados possuem recomendações normativas disciplinando o uso do material.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA -, de 5 de julho de 2002, em vigor desde o dia 2 de janeiro de 2003, concede às geradoras de resíduos um período máximo de 24 meses para se adaptarem às

novas regras. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a Gestão dos Resíduos da Construção Civil e cria a cadeia de responsabilidades: gerador - transportador - municípios. A responsabilidade do resíduo gerado pela construção civil será:

- dos geradores, “pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos”;
- dos transportadores, “pessoas físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação”;
- dos municípios.

Conforme a NBR 10004, os resíduos se classificam em:

I - Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: os de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação; resíduos de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplenagem; resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; resíduos do processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.), produzidas nos canteiros de obras;

13

II - Classe B: são os resíduos recicláveis com outras destinações, tais como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C: são os 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;

IV - Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Cada categoria desses resíduos deverá ter o seu destino adequado e ser armazenada de maneira apropriada, conforme as normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

O setor do concreto, preocupado com a Resolução do CONAMA e a com a sua contribuição para a melhoria e a preservação do meio ambiente, vem desenvolvendo

técnicas para eliminar parte dos resíduos que produz. Uma das técnicas utilizada no

setor concreto é a da separação das matérias primas do concreto ainda não endurecido, reutilizando os materiais recuperados. No entanto, segundo Buttler (2003), são poucas as usinas concreteiras que utilizam algum sistema de reciclagem do resíduo.

Recentes estudos coordenados pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP (PCC/USP), realizadas por Rezende

(2001), indicam que o desperdício na construção civil brasileira atinge perdas médias

de 9% para o concreto dosado em central. Já na Europa, o mesmo tipo de estudo aponta uma perda de 1% a 4% em relação ao volume total.

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) (2004), em 2003, foram produzidas 33.561.690 toneladas de cimento no Brasil, sendo que apenas 4.665.489 toneladas foram utilizadas nas concreteiras. Considerando-se o critério padrão adotado no Brasil, que seria o concreto com resistência média de 25 MPa, com consumo médio de 300 kg/m³ de cimento, deduz-se que o nosso país produz uma média de 15.551.630 m³ de concreto por ano.

Os dados acima levam à conclusão de que a perda de concreto em estado fresco pode atingir um volume equivalente a 1.299.646 m³ por ano em todo o Brasil.

14

Conforme Rezende, Levy & Djanikian (1996), estimativas fornecidas pela ABESC (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem) para a região metropolitana de São Paulo indicam um volume de cerca de 3500m³ a 7000m³ de concreto residual gerados mensalmente nas centrais dosadoras. Isso corresponde a

4,5% a 9,5 % da produção mensal.

Apesar de algumas usinas já terem implementado um trabalho para o reaproveitamento dos rejeitos, o que inclusive possibilitou o presente estudo, muitas

ainda não possuem o domínio da utilização de materiais finos provenientes desse reaproveitamento.

1.2 OBJETIVO

A proposta deste estudo é mostrar como a utilização de materiais finos, provenientes de concretos reciclados da própria usina, pode impactar nas características físicas e no desempenho mecânico do novo concreto produzido. Foram realizados ensaios em laboratório e em uma usina dosadora para verificar as dificuldades e as variações do concreto com relação à resistência, ao desvio padrão e à confiabilidade do sistema.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 1 apresenta a introdução do tema proposto e relata o conteúdo da dissertação.

O Capítulo 2 descreve o processamento do concreto rejeitado em usinas, a separação dos componentes, a destinação de agregados graúdos e agregados miúdos, e a destinação da água com finos.

O Capítulo 3 descreve a avaliação do uso da água com várias quantidades de finos no concreto, em laboratório, e analisa os resultados.

15

O Capítulo 4 avalia o uso da água com finos no concreto usinado, caracteriza a usina do estudo de caso, avalia os grupos de amostras coletadas, descrevendo os procedimentos utilizados. Também avalia a variação do uso de finos no concreto usinado, determinando sua resistência à compressão, o desvio padrão da amostra e

o coeficiente de variação.

O Capítulo 5 contém a conclusão geral do trabalho.

2 O PROCESSAMENTO EM USINAS DE CONCRETO REJEITADO

2.1 DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO

Após ser rejeitado pelo controle de qualidade da obra, o concreto retorna à usina concreteira, onde é separado em estado fresco.

O retorno pode ser causado:

- 1) pela demora no lançamento do concreto, conforme definido pela norma NBR 7212 (Preparo, Controle e Recebimento de Concreto – Procedimento), que estabelece o período máximo de duas horas e meia entre o final da dosagem na central dosadora e o final do lançamento do concreto na obra;
- 2) pelo não cumprimento das características plásticas do concreto, conforme especificado em projeto ou contrato. A característica plástica do concreto é dada pelo abatimento (tronco de cone), conforme determina a norma NBRNM 67 (determinação da consistência pelo abatimento de cone). A aceitação do concreto é

estabelecida pela norma NBR 12655 (Execução de Concreto Dosado em Central), o

controle mais simples e consagrado para o recebimento do concreto.

Também faz parte do processo o concreto devolvido pela obra, ainda em estado fresco, resultado da sobra no término de uma concretagem, ou seja, o concreto que

não foi utilizado e/ou que foi descartado na limpeza das betoneiras.

O resto de concreto, ainda em estado plástico, é retornado para a usina concreteira e lançado em um equipamento para a separação dos constituintes: agregados e finos.

16

As justificativas para a utilização desse equipamento para a reciclagem do concreto fresco são: a vantagem técnico-econômica do reaproveitamento dos agregados no processo, a eliminação dos custos de deposição de resíduos sólidos e os benefícios ambientais provenientes da operação.

O processo de separação dos constituintes do concreto tem início no lançamento do concreto retornado de uma betoneira em um funil alimentador (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Concreto residual de uma betoneira no início da reciclagem.

(FONTE: SCHWING STETTER, 2000)

Na Figura 2.2, apresenta-se um dos tipos de equipamentos utilizados na separação dos constituintes com concreto.

1. Entrada do concreto fresco a ser reciclado, 2. Saída de água de lavagem com finos, 3. Processo de lavagem e separação dos finos dos agregados e 4. Saída dos agregados.

17

Figura 2.2 – Equipamento utilizado para a reciclagem do concreto fresco.

(FONTE: SCHWING STETTER, 2000)

Na Figura 2.2, os números identificam as seguintes etapas de separação dos constituintes do concreto retornado:

1 – Resíduos de concreto fresco depositados no funil alimentador.

2 – Saída da água de lavagem com os finos em suspensão. Os últimos são direcionados para um tanque que possui agitadores para evitar a decantação. Em

seguida, pode-se bombear a água com finos para o sistema de dosagem de novos concretos.

3 – Processo de lavagem executado no tambor, que possui espirais que giram no sentido contrário ao fluxo de água.

4 – Saída dos agregados na calha de descarga.

A água com finos e os agregados passam pelo processo de centrifugação, quando são separados. Numa segunda etapa, os agregados graúdos são separados

dos miúdos com a utilização de uma peneira (Figura 2.3). Os finos vão para um tanque de decantação, que possui um agitador para mantê-los em suspensão (Figura 2.4), e os agregados vão para a calha de descarga para serem reutilizados (Figura 2.5).

Figura 2.3 – Peneira separadora de agregados graúdo dos miúdos.

18

Figura 2.4 – Tanque do agitador com água de reuso.

(FONTE: SCHWING STETTER, 2000)

Figura 2.5 – Saída dos agregados após a separação do concreto residual.

(FONTE: SCHWING STETTER, 2000)

19

2.2 PROCEDIMENTO DE SEPARAÇÃO DOS CONSTITUINTES

A separação dos componentes consiste na lavagem do concreto em estado fresco, utilizando a água de reuso da lavagem do concreto anterior, composta por água e finos removidos quando da lavagem da betoneira.

Para passar pelo processo de reciclagem, o concreto precisa ter uma alta fluidez para que seus constituintes possam ser separados. Em seguida ao acréscimo da água, ele é lançado dentro de um separador que seleciona os finos dos agregados. Os finos voltam ao reservatório para serem reutilizados na lavagem de uma outra betoneira ou na produção de novos concretos.

Já os agregados são separados por meio de peneiras, que irão classificá-los em graúdos (brita) e em miúdos (areia). Poderão ser reutilizados junto aos agregados correspondentes na produção de novos concretos.

Conforme Rezende, Levy & Djanikian (1996), os resíduos de concreto fresco são depositados num funil alimentador, que conduz essas sobras para a primeira seção do equipamento. Lá, acrescenta-se água para auxiliar na decantação dos agregados, de modo que o aglomerante existente (cimento) permaneça em suspensão. A água é recolhida quando transborda pelo mesmo ponto de alimentação por onde são introduzidas as sobras de concreto. Já os agregados são

recolhidos na calha de descarga.

2.3 DESTINAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS

Os agregados graúdos são as britas. São classificadas em 9,5 mm, 19 mm, 25 mm, 32 mm, em função do seu diâmetro máximo, conforme norma NBR 7809 (determinação do índice de forma pelo método de paquímetro).

Ao serem separados pelo classificador de agregados, ficam sem resíduos de materiais finos, que permanecem na água de reuso. O material separado poderá retornar ao monte de agregado sem os finos provenientes de britagem.

20

Uma consideração muito importante na reutilização dos componentes em questão é a de que o processo de separação limita-se apenas a distinguir os agregados graúdos (brita) dos agregados miúdos (areia). Por essa razão, deve-se sempre reutilizar os agregados graúdos depositados no monte correspondente à brita de diâmetro máximo, e o material recuperado deverá sempre ser misturado com o restante da brita existente.

O processo de tombamento se dá pela mistura de agregados recém depositados nos montes com outros já existentes, para ocasionar melhor homogeneização de materiais de diferentes classificações de agregados. Pode ser mecanizado, utilizando pás-carregadeiras, ou manual, através de pás ou enxadas. A determinação do processo de mistura dependerá somente do volume de material reciclado. Nos casos onde se recicla entre 1m³ a 2 m³ de concreto por dia, pode-se

optar pelo processo manual, mas nos casos em que há um volume maior a ser reciclado, é recomendável o uso do processo mecânico.

2.4 DESTINAÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS

Os agregados miúdos são compostos por grãos com dimensões máximas de 4,8 mm, como areias naturais e areias artificiais. No processo de separação dos componentes do concreto, a qualidade do material fino resultante dependerá da velocidade do equipamento. Caso o processo seja muito rápido, o agregado miúdo poderá ficar com resíduos de cimento e ocasionará a solidificação do material, impossibilitando o reuso.

O ideal é que a operação seja lenta e executada com bastante água de reuso, para possibilitar a lavagem dos agregados graúdos e miúdos, deixando os materiais

finos na água de lavagem.

A areia deverá ser reutilizada em argamassas ou em concretos de baixas resistências devido à falta de homogeneidade do material. Se no concreto separado

foram utilizados dois tipos de areia diferentes, não será possível garantir a boa qualidade do produto a ser reutilizado e, como consequência, a granulometria será diferente do agregado usado na central.

21

No caso da reciclagem de concreto contendo apenas um agregado miúdo, após a separação, o agregado reciclado poderá ser reutilizado no mesmo monte do agregado miúdo. Basta misturar. Pode-se utilizar o processo de tombamento para a

mistura da mesma forma como foi descrito para a brita no item 2.2.

2.5 DESTINAÇÃO DA ÁGUA

A água oriunda das chuvas e da lavagem de usina poderá ser utilizada na fabricação de concreto. Existem alguns cuidados a serem tomados para a utilização

dessas águas, como a verificação do pH, da presença de óleo, de sabão e de outros materiais.

O procedimento para verificar a qualidade da água de reuso envolve a realização de ensaios de determinação do pH, dos materiais em suspensão e do material

residual por evaporação. Com esses testes, é possível avaliar se haverá prejuízo para a durabilidade, para as características plásticas do concreto, ou se o seu tempo de endurecimento será alterado. Os resultados devem estar dentro dos parâmetros recomendados pelas normas de qualidade do concreto. Como afirma Szczy (2003), é recomendável realizar os ensaios para garantir a homogeneidade. Para alcançar uma garantia técnica dos finos, são necessários testes para determinar a consistência da água e os teores de cloreto e sulfetos, entre outros sais, que a compõem, pois são os elementos que determinarão sua qualidade. A água de lavagem com o cimento em suspensão poderá ser reutilizada para a mistura de novos concretos, desde que o cimento presente não seja considerado como aglomerante, mas simplesmente como material fino e inerte, conforme Buttler, 2003.

22

2.6 DESTINAÇÃO DOS FINOS

Os finos provenientes da separação de concreto em estado fresco consistem em finos do cimento, finos dos agregados e materiais pulverulentos passantes na peneira 200 mm.

Podem ser utilizados na fabricação de novos concretos, desde que sejam avaliados quanto à qualidade e a quantidade máxima estabelecidas para serem empregados, sem prejudicar as características básicas do concreto: o abatimento e a resistência.

O aspecto mais importante para a utilização dos finos é a determinação do consumo máximo do material em novos concretos, e a determinação do fluxo de entrada e saída (Figura 2.5) no tanque de armazenagem. A porcentagem máxima utilizada é definida de modo a não comprometer as qualidades do concreto. Além disso, é possível determinar a quantidade de finos que uma usina produz na reciclagem do concreto e o quanto ela usa na fabricação de novos concretos. O ideal

é que a usina consuma todo o volume gerado na reciclagem do concreto fresco devolvido.

Figura 2.5 – Fluxograma de entrada e saída de finos.

Entrada

de finos

do

concreto

Tanque de

armazenagem

de água com

finos

Saída de

finos para

novos

concretos

(+) (-)

Sandrolini & Franzoni (2001) reutilizaram a água de lavagem com o cimento em suspensão e os resultados mostraram que as argamassas de contra piso e concretos alcançaram cerca de 96% da resistência do concreto de referência e, em alguns casos, foi até superior. Além disso, o uso da água reciclada conduziu a uma redução da absorção de água e a uma diminuição da micro-porosidade da argamassa de contra piso, melhorando a durabilidade do material. Tal efeito pode ser atribuído ao preenchimento pelos finos presentes na água reciclada e pela

ligeira redução da relação água/cimento. Parte desses finos vem de cimentos hidratados que não deverão ser considerados no cálculo da relação água/cimento. Nesse caso,

o ensaio é baseado somente na utilização de água de lavagem e cimento em suspensão, não sendo computados os finos provenientes da lavagem dos agregados.

Segundo Buttler (2003), no tratamento do concreto fresco residual, também são utilizadas as caixas de sedimentação. É o sistema de tratamento mais frequente devido ao pequeno investimento inicial, consistindo de uma caixa de sedimentação de fundo inclinado, onde são lançados o concreto residual e os resíduos da lavagem

dos caminhões e do pátio central. A maioria das centrais de concreto brasileiras utilizam os sistemas de caixas de decantação para posterior remoção dos resíduos.

Para o reaproveitamento da água de lavagem, são disponibilizadas duas a quatro caixas em série, para a decantação do cimento e das partículas finas em suspensão

na água.

Nos casos de reciclagem de concretos acima de 6 m³, seria recomendado utilizar o processo de reciclagem em duas etapas, para realizar a separação dos materiais com maior eficácia.

2.7 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Toda a reciclagem do concreto em estado fresco irá fornecer subprodutos que poderão ser: os agregados (grãos e miúdos) ou a água com finos, que seria a água de lavagem das betoneiras com os finos residuais do concreto.

24

2.7.1 Agregados

A caracterização dos agregados é dada pela separação do resíduo da reciclagem do concreto em estado fresco, gerando um produto sem granulometria definida, como o agregado grão e o miúdo. O material poderá ser aproveitado em concretos de baixa resistência à compressão (10 MPa) e sem responsabilidade estrutural, como cimentados e lastro de base, porque não é possível controlar seus constituintes.

Para utilizar o produto não classificado em concretos usuais, deve-se separá-lo em agregados grãos e miúdos, cujas proporções podem ser mensuradas. O processo ocorre no ato da separação dos componentes do concreto fresco, quando

é utilizada uma peneira separatória de agregados.

Os agregados separados não são modificados quanto à forma inicial de uso, pois não sofrem nenhuma alteração durante o processo de reciclagem.

2.7.2 Água com Finos

A água com finos é proveniente da separação do concreto a ser reciclado. É produzida na mesma usina onde poderá ser armazenada e reutilizada na lavagem de betoneiras ou em novos concretos.

Uma das preocupações do uso de finos em novos concretos é a obtenção da caracterização química da água com finos. A Tabela 2.1 mostra o resultado da classificação da água reciclada, indicando a ausência de açúcar no material e a presença de pH básico - características importantes para que o desempenho de um

novo concreto com o uso de finos não seja comprometido.

25

Tabela 2.1 – Resultados químicos da água reciclada.

A tabela 2.2 e as figuras 2.3, 2.4 e 2.5, ilustram um exemplo de ensaio de caracterização mineralógica por difratometria de raio X., que pode demonstrar as concentrações dos compostos mineralógicos cristalizados. Através dele, é possível determinar a presença de clínquer anidro, calcita, etringita, feldspato, portlandita, quartzo e aluminatos hidratados, normalmente esperados nessa condição.

Tabela 2.2 – Resumo do ensaio de difratometria de raio X.

26

Figuras 2.3 – Resultado obtido do ensaio de difratometria de raio X de amostra moída há 1 minuto.

Figuras 2.4 – Resultado de ensaio de difratometria de raio X com amostra moída há

30 segundos.

27

Figuras 2.5 – Resultado de ensaio de difratometria de raio X com amostra passante na peneira #200.

Na utilização em novos concretos, a água com finos pode ser empregada na proporção de até 30 kg/m³ de fino no concreto, conforme Hanke (2000), que enfatiza

que, na Alemanha, a legislação obriga a reciclagem do concreto, devido à falta de espaço físico e de matéria prima. Hanke (2000) menciona ainda que as práticas da utilização de águas com finos em concretos usuais e de alta resistência, na Alemanha, têm grande aceitação, além de serem consideradas ecológicas. De acordo com Vickers (2002), a água reciclada com finos é também chamada de água cinza (*gray water*), uma alusão ao seu aspecto físico. Para o uso de água com finos, recomenda:

- Minimizar sempre a geração de água com finos;
- Dimensionar o tanque de água com finos conforme o retorno de concreto fresco para a usina;
- Sempre que possível, utilizar 100% da água reciclada em novos concretos.
- Nunca desligar o agitador da água do tanque de água com finos, porque se os finos decantarem dentro do tanque, irão endurecer na parede do tanque e nas pás do agitador, podendo impedir o processo de utilização ou até interrompê-lo.

28

Para o emprego da água com finos, é necessário saber alguns dados para determinar a proporção de água limpa e de água com finos no processo de confecção de um concreto novo. Por isso, é indispensável conhecer a densidade dos

finos dentro da água, a densidade da água com finos e a quantidade de finos a ser utilizada na mistura.

Para determinar parâmetros de densidade no tanque, é necessário o emprego de um densímetro para definir a proporção entre água com finos e água pura. Será preciso descontar os finos da água reciclada, pois, caso contrário, haverá uma mudança na relação água /cimento (a/c) determinada para a mistura.

Na utilização de água reciclada em concretos novos, faz-se necessário observar a norma americana (*Ready-Mixed Concrete Producer Qualifications*), que estabelece

padrões de qualidade e pureza da água a ser utilizada. Já nas normas brasileiras NBR 7212 e NBR 12655, esses padrões não são estabelecidos, possibilitando uma flexibilidade maior no uso. Contudo, é importante ter como premissa a qualidade e a

durabilidade do concreto a ser produzido. É necessário que a água receba alguns cuidados para não ser contaminada, por exemplo, com materiais orgânicos, óleos e

sabão. No presente trabalho, foram adotados os parâmetros de qualidade da água estabelecidos pela norma americana ASTM C 94/C 94M.

2.8 PROCEDIMENTO DE RECICLAGEM DOS COMPONENTES

O procedimento de reciclagem começa com o concreto da betoneira devolvido e varia de acordo com a quantidade.

Para cada 1 m³ de concreto a ser reciclado deve-se adicionar, no balão da betoneira, entre 70 a 100 litros de água reciclada. Em seguida, a mistura é homogeneizada por 5 minutos e lançada na caçamba do reciclador, onde se dá o processo de separação dos constituintes do concreto.

Existem casos onde o concreto a ser reciclado presente nas betoneiras atinge o volume de 6 m³. Nessas condições, poderá ser adicionada a quantidade total de água requerida, conforme já mencionado. Quando as betoneiras possuem o volume

acima de 6 m³, a reciclagem deve ser realizada em duas etapas. Primeiramente, adicionar metade da água requerida, homogeneizar e lançar na caçamba do reciclador entre 1 a 2m³. Em seguida, adicionar a outra metade.

29

No final do dia, é muito importante que a caçamba do reciclador seja limpa para que o material restante não se solidifique, pois, se isso ocorrer, o processo de reciclagem será comprometido.

O tanque da água de reuso possui um agitador de partículas para manter os finos contidos na água em suspensão. A manutenção do agitador requer atenção porque a danificação do equipamento ocasionará a decantação dos finos no fundo do tanque, hipótese em que deverá ser esvaziado e limpo.

Como os agregados graúdos e miúdos separados no processo de reciclagem são produzidos em pouca quantidade, em comparação ao volume diário utilizado de agregados em uma usina dosadora, podem ser misturados aos montes

correspondentes à maior dimensão. Os agregados graúdos são acrescentados aos montes com classificação "Brita 25 mm". Já os agregados miúdos são depositados nos montes da areia de britagem. Sempre que adicionados, os agregados são homogêneos pelo processo de tombamento, com o uso de uma pá carregadeira.

O processo de mistura do agregado é viável porque a quantidade de concreto reciclado por mês pelo equipamento é inferior a 0,5% do que é produzido por mês. Caso o contrário, o material separado deverá ter outro destino.

A água de reuso é composta por partículas finas retiradas do concreto reciclado. Para aproveitar o material em novos concretos, é necessário obedecer às premissas

de consumo de fino por metro cúbico. É importante salientar que o tanque de água reciclada dificilmente terá uma densidade da água constante, pois, durante a reciclagem, lá são jogados mais finos que também são utilizados na confecção de novos concretos. O fluxo de entrada e de saída de finos nunca será igualado, pois o

consumo ocorre durante todo o dia e a reciclagem de concreto limita-se a alguns períodos do dia.

Para solucionar o problema da variação da densidade da água com finos, pode-se adotar um densímetro eletrônico. Ele envia um sinal para a balança dosadora, que faz a alteração da dosagem de forma automática. A densidade também pode ser medida pelo processo convencional, através do uso de um densímetro manual.

A leitura deverá ser feita a cada hora, seguida pela correção necessária na dosagem do concreto.

30

3 AVALIAÇÃO DO USO DE ÁGUA COM FINOS NO CONCRETO PREPARADOS EM LABORATÓRIO

3.1 METODOLOGIA

A pesquisa experimental em laboratório teve como finalidade avaliar a utilização de finos no concreto, para demonstrar a influência do seu teor na variação da resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias, para os consumos de finos de 10 kg/m³, 15 kg/m³ e 20 kg/m³. Procurou-se correlacionar os resultados do desvio padrão e do coeficiente da variação obtidos nos ensaios com o consumo de finos por

m³ de concreto.

Foram utilizados: um concreto com resistência característica de (fck) 25 MPa, com abatimento de 80 ± 10 mm; somente um tipo de agregado classificado como "BRITA 1", com dimensão máxima nominal de 19 mm; cimento do tipo III, com resistência à compressão de 32 MPa. O concreto com resistência de projeto de 25 MPa foi o escolhido por ser o mais usado, segundo dados obtidos no site da Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC).

No experimento laboratorial, foi adotada uma betoneira elétrica com capacidade máxima de 300 litros e uma capacidade nominal de 200 litros. Para este estudo, foram utilizadas betonadas de apenas 30 litros.

Os ensaios de compressão realizados foram baseados na norma NBR 5739 (Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos de Concreto), e os

exemplares obtidos foram mantidos em uma câmara úmida. Na regularização dos corpos-de-prova, adotou-se o processo de retífica, conforme procedimento requerido pela mesma norma.

Os finos e os agregados já reciclados utilizados foram retirados de uma usina dosadora onde, mais tarde, foi realizado o estudo de caso apresentado no capítulo 4. Todos os materiais usados passaram por um processo de secagem para facilitar a mistura.

3.1.1 Características do concreto

31

Foi selecionada uma mistura padrão, onde as únicas variações foram: o consumo de material fino da água reciclada, obtido na separação de outros concretos com os

mesmos materiais, e o consumo de água para se manter o abatimento desejado. O experimento foi realizado na cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo, e todos os materiais empregados foram retirados da região.

O cimento escolhido foi do tipo CP III – 32, conforme norma NBR 5735 (Cimento Portland de alto-forno), e os agregados utilizados foram:

- Agregado miúdo natural (areia natural) - quartzosa;
- Agregado miúdo de britagem - granítico;
- Agregado graúdo com diâmetro máximo nominal de 19 mm (Brita 1) - granítico

Nesse traço, foi utilizado um aditivo com características de plastificante de pega normal para concreto.

Para o concreto, foram empregadas as misturas das tabelas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5. A água com finos é proveniente da reciclagem de concretos realizada na usina dosadora. Ao utilizá-la, determinou-se a sua densidade para saber a proporção requerida de água reciclada e de água limpa, conforme a equação apresentada na Tabela 3.1. No caso do estudo em laboratório, os finos utilizados foram secos, pois,

para se obter um resultado semelhante ao de um reservatório de finos, é preciso manter a água em constante agitação. Tal condição não é possível quando transportada para análise em laboratório.

Tabela 3.1 – Sistema de equações para a determinação da proporção entre finos e água limpa.

$$X + Y = 1$$

$$X \cdot D_a + Y \cdot D_s = 1 \cdot D_m$$

$$100 \quad 100$$

Legenda:

X = porcentagem de água limpa.

Y = porcentagem de finos.

D_a = densidade da água.

D_s = densidade dos sólidos.

D_m = densidade da mistura do tanque.

32

Para achar a proporção de água limpa e dos sólidos dentro do tanque de

água reciclada, é necessário conhecer a densidade da água reciclada com a utilização de um densímetro manual, medindo-a a cada duas horas, por apresentar uma variação ao longo do dia. Já a densidade dos finos é medida em laboratório, todo mês, por ter uma variação muito baixa. No estudo realizado, a densidade dos finos foi de 2,20 g/cm³, o que indica que ainda existe pouco cimento não hidratado, pois o que foi utilizado tem uma densidade de 3,05 g/cm³.

3.1.2 Traço do concreto

Adotou-se a seguinte carta de traço no ensaio em laboratório, quando foram realizadas betonadas de 30 litros por ensaio (Tabela 3.2, 3.3, 3.4, 3.5).

Tabela 3.2 – Traço utilizado em laboratório para o fck = 25MPa.

Tabela 3.3 – Traço utilizado em laboratório para o fck = 25MPa com 10 kg/m³ de finos.

Tabela 3.4 – Traço utilizado em laboratório para o fck = 25MPa com 15 kg/m³ de finos.

Tabela 3.5 – Traço utilizado em laboratório para o fck = 25MPa com 20 kg/m³ de finos.

Cimento

CP III

Areia

Quartzosa

Areia

Granítica Brita 19 mm Água Aditivo

Plastificante

1 1.139 1.139 3.416 0.596 0.0035

Cimento

CP III

Areia

Quartzosa

Areia

Granítica Brita 19 mm Água Aditivo

Plastificante

1 1.139 1.139 3.416 0.583 0.0035

Cimento

CP III

Areia

Quartzosa

Areia

Granítica Brita 19 mm Água Aditivo

Plastificante

1 1.139 1.139 3.416 0.575 0.0035

Cimento

CP III

Areia

Quartzosa

Areia

Granítica Brita 19 mm Água Aditivo

Plastificante

1 1.139 1.139 3.416 0.569 0.0035

33

Para a análise em questão, foram rodados 7 ensaios para se obter os resultados de desvio padrão do procedimento e do traço.

Primeiro, foi rodado o traço sem a utilização dos finos, que originou 7 grupos de ensaios. Em cada grupo de ensaio, foram moldados 2 corpos-de-prova (CP) para

testar a resistência à compressão aos 7 dias de idade e dois corpos-de-prova para o teste aos 28 dias.

Mais adiante, o mesmo procedimento de ensaio foi realizado, adicionando-se água com finos nas seguintes quantidades: 10 kg/m³, 15 kg/m³ e 20 kg/m³. É importante salientar que foram mantidas as características do concreto, como as proporções dos materiais utilizados. As únicas alterações nos traços foram a adição

de finos nas proporções informadas acima e a alteração da relação a/c. O que foi observado em laboratório é que não houve uma redução expressiva no abatimento,

quando comparado com os concretos sem a utilização de finos.

3.2 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados das tabelas 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 foram obtidos nos ensaios em laboratório.

34

Tabela 3.2 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto sem Finos

35

Tabela 3.3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto com uso de finos de 10 kg/m³

36

Tabela 3.4 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto com uso de finos de 15 kg/m³

37

Tabela 3.5 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto com uso de finos de 20 kg/m³

38

3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE LABORATÓRIO

A partir da análise dos resultados apresentados nos itens anteriores, pode-se constatar o seguinte:

- Com o acréscimo do consumo de finos, houve uma redução do desvio padrão do concreto (Figura 3.1). O coeficiente de variação também apresentou uma queda bem acentuada, quando o consumo de finos foi maior, o que ocasionou a diminuição da resistência;
- A resistência à compressão média sofreu uma redução quando aumentado o consumo de finos no concreto. Ressalta-se que também foi aumentada a relação água / materiais secos para manter o mesmo abatimento especificado (Figura 3.2) e, em consequência, a própria relação a/c;
- Nos resultados de fck estimados, pode-se verificar uma alteração pouco expressiva, mesmo com a alteração no consumo de água;

Figura 3.1 – Desvio padrão com consumo de finos

Desvio Padrão X Consumo de finos

0
0,5
1
1,5
2

2,5
0 5 10 15 20 25
Finos (MPa)
Desvio Padrão
39

Figura 3.2 – f_c médio com consumo de finos

Com o aumento do consumo de finos no concreto, houve uma melhora do desempenho das misturas do ponto de vista da confiabilidade estatística, com a redução bem acentuada no desvio padrão, que passou de 2,01 (sem finos) para 0,55

(20 kg/m³ de finos). Outra redução, também bem expressiva, foi a do coeficiente de variação de 6,89% (sem finos) para 2,04% (20 kg/m³ de finos).

Os resultados indicam uma vantagem da utilização de finos no concreto, pois apesar de apresentar uma redução na resistência média das amostras de 29,1 MPa

para 26,8 MPa, foi obtida uma queda significativa no coeficiente de variação das resistências das amostras analisadas.

Isso significa que, apesar de existir uma diminuição na resistência média do concreto, foi possível verificar uma grande redução na variação da maior e da menor

resistências obtidas em laboratório, e a manutenção da resistência característica.

É importante ressaltar que, para manter o mesmo abatimento do concreto, foi alterada a relação água / materiais secos do concreto. Houve um acréscimo na quantidade de água na mistura, acarretando uma queda da resistência do concreto e

das variações no desvio padrão. A alteração na água melhorou, ainda, a condição de trabalho, a plasticidade e a consistência dos concretos.

Nos ensaios realizados em laboratório, foram utilizados procedimentos e materiais que pudessem retratar com maior fidelidade a prática em campo. Os resultados foram bem satisfatórios em comparação ao que se tem em campo.

f_c médio X Consumo de finos

26,5
27
27,5
28
28,5
29
29,5
0 5 10 15 20 25
Finos (Kg)
 f_c médio (MPa)
40

4 CARACTERIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA COM FINOS EM USINA DOSADORA DE CONCRETO

4.1 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta um estudo de caso sobre a adição de finos no concreto de uma central dosadora automatizada, na proporção de 10 kg/m³. Os finos empregados foram obtidos na própria central.

A seguir, são descritos os procedimentos para a caracterização da usina

dosadora, o procedimento do uso de finos no concreto e a determinação das famílias amostrais.

4.1.1 Caracterização da usina dosadora

O estudo foi realizado em uma usina situada no estado do Espírito Santo, e os materiais empregados para a mistura do concreto foram obtidos na região.

A usina dosadora escolhida possui 5 caixas de agregados (Figura 4.1), 2 silos para armazenagem de cimento, galpão de armazenagem (Figura 4.2) e 4 balanças,

sendo uma específica para cimento e as outras para água, agregados e aditivo.

Todo o sistema de pesagem dos componentes do concreto é automatizado (Figura 4.3), com o auxílio de células de carga nas balanças de pesagem conectadas a computadores. O sistema de proporcionamento implicará no maior controle e na maior homogeneidade da dosagem, minimizando os problemas e os erros, e possibilitando o rastreamento do que foi dosado de fato.

A usina possui capacidade de produção de 120 m³/h, e cada silo possui capacidade para 100 toneladas de cimento.

41

Figura 4.1 – Caixas e balanças das britas e areia.

Figura 4.2 – Usina dosadora e galpão de armazenagem.

42

Figura 4.3 – Mesa de pesagem automatizada.

Após três anos do início do funcionamento da usina, foi incorporado o sistema de reciclagem do concreto com o intuito de separar os agregados graúdos, miúdos e finos. Para o uso do reciclador de concreto fresco, foram necessários a participação

de algumas áreas da empresa, como a parte técnica operacional e a da tecnologia do concreto, bem como o trabalho da empresa de automação do sistema de pesagem da mistura. O funcionamento do novo sistema foi integrado com o proporcionamento do concreto, e foi necessário remodelar o programa de pesagem para introduzir o uso de água com finos. Foram incluídos dois novos parâmetros na hora da pesagem para um melhor controle do processo. Primeiro, foi adicionado o parâmetro de uso ou não de finos no proporcionamento. O segundo parâmetro foi o

da densidade da água com finos do tanque de água de reuso, para poder obter a proporção entre a água com finos e a água limpa. Tal proporção estabelece parâmetros para que o limite do consumo de finos não seja ultrapassado, conforme foi apresentado no capítulo anterior.

4.1.1.1 Caracterização do reciclador de agregado

A separação dos constituintes do concreto é realizada por intermédio de um aparelho comumente chamado de reciclador. O princípio do sistema é bem simples.

Em uma de suas pontas é lançado o concreto. O aparelho faz a separação pelo

43

processo de decantação dos finos e dos agregados existentes no concreto. Na lateral do equipamento, sai a água com finos que vai para um tanque de armazenagem. Na outra ponta do aparelho, saem os agregados que, em seguida,

são transportados para uma peneira separadora de agregados graúdos e miúdos. No estudo de caso, ao contrário dos modelos encontrados no mercado, o reciclador é completo (Foto 4.4), isto é, possui a peneira separatória dos agregados reciclados.

Foto 4.4 – Reciclador de concreto fresco.

No início do processo de reciclagem do concreto, a característica plástica é importante para se obter um bom resultado. É necessário que o concreto a ser manuseado tenha uma alta fluidez, isto é, um abatimento acima de 250 mm. Como já mencionado antes, alguns fabricantes de recicladores de concreto recomendam adicionar, no início de cada processo de reciclagem, cerca de 70 a 100 litros de água por metro cúbico de concreto. Nos casos envolvendo o concreto de uma betoneira que já possua a capacidade volumétrica máxima, é recomendado que, no

princípio, sejam processados cerca de 1 a 2 m³ de concreto, para mais tarde reciclar

o restante.

44

4.1.1.2 Caracterização do início do estudo de reciclagem

O estudo de caso foi iniciado em junho de 2004, com a intenção de utilizar um reciclador de concreto na referida central dosadora, localizada em Vitória/ES. Após compreender quais seriam os impactos da utilização do reciclador, foram realizados

alguns procedimentos para garantir uma maior segurança quanto à qualidade do concreto. Nos meses de julho a setembro de 2004, foi realizada uma avaliação mais

minuciosa dos resultados de resistência abrangendo os aspectos de desvio padrão,

fc médio, fck estimado e coeficiente de variação das amostras.

No final do mês de setembro de 2004, o reciclador já estava instalado, mas não em funcionamento. Faltavam algumas adequações necessárias para a utilização de

água com finos no concreto. As adequações implicaram na construção de tubulação

para a chegada de água com finos até o ponto de descarga de água na usina dosadora, e nos ajustes no sistema de dosagem da água.

No final do mês de setembro, estabeleceu-se que, no dia 1 de outubro de 2004, seria iniciado o processo de reciclagem de concreto fresco, incluindo a utilização da

água com finos entre os meses de outubro a dezembro de 2004. No final do período,

o estudo seria concluído, com a definição da continuação ou não da utilização de água com finos no concreto.

Nos primeiros dias de reciclagem, foi feito um treinamento para a equipe de motoristas a fim de conscientizá-los sobre a importância do seu trabalho no processo, e mostrar-lhes que o sucesso da operação dependia da eficiência com que desempenhassem sua função.

4.1.2 Procedimento de Formação de Famílias

A princípio, as amostras foram divididas de acordo com o abatimento, os concretos bombeados e os concretos convencionais. Em uma fase posterior, já classificadas, foram submetidas a uma segunda caracterização no tocante à

45

resistência à compressão, quando foram divididas segundo fck (20 MPa, 25 MPa e 30 MPa).

Estabeleceram-se famílias de concretos com resistências de 20MPa, 25MPa e 30MPa. Também foram classificadas em concretos convencionais, aqueles com um

abatimento de 60 mm e uma variação de 10 mm, e em concretos bombeados, aqueles com um abatimento de 100 mm e uma variação de 20 mm.

A formação dos grupos foi baseada na resistência à compressão e no abatimento. Cada grupo de resistência e abatimento representaria um mês de produção de concreto de uma usina dosadora. Para o estudo, foram empregados os

testes dos meses de julho, agosto e setembro de 2004 para os grupos de resultados

do concreto sem a adição de finos, e dos meses de outubro, novembro e dezembro de 2004 para os grupos de resultados com a utilização de finos na proporção de 10 kg/m³.

Quanto à quantidade de números de amostras, decidiu-se que cada família de resistência, com cada tipo de abatimento, teria uma amostra com no mínimo 30 resultados de resistência à compressão do concreto.

4.2. AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO USO DE FINOS NO CONCRETO USINADO

4.2.1 Metodologia

O presente capítulo apresenta a análise estatística dos valores obtidos no estudo de caso do capítulo anterior.

Os dados alcançados em relação à resistência à compressão do concreto passarão por uma análise estatística quanto à sua coerência, conforme o teste de normalidade. Também será apresentado um histograma com a curva normal, com nível de confiança dos resultados de 95%.

Para o estudo, formaram-se famílias sem o uso de finos correspondentes aos meses do ensaio de julho, agosto e setembro, e com o uso de finos relativos aos meses de outubro, novembro e dezembro.

46

4.2.1.1 Caracterização do Teste de Normalidade

O teste de normalidade tem a função de constatar quão próximos os resultados alcançados estão da curva normal. O estudo foi baseado na comparação da distribuição de freqüências cumulativas com a função de distribuição sob hipótese.

O

teste é uma ferramenta estatística importante para uma distribuição normal quanto à

verificação da aderência dos dados à curva normal. Ele é baseado na metodologia de Anderson-Darling, usada para determinar se duas distribuições de probabilidade subjacentes diferem uma da outra ou se uma delas difere da distribuição em hipótese. Em quaisquer dos casos, toma como referência amostras finitas.

O gráfico leva em consideração a proximidade dos pontos obtidos em relação à reta normal, isto é, quanto mais próxima a seqüência de pontos está do eixo da reta,

mais coerentes serão os resultados obtidos.

4.1.2 Caracterização do histograma com curva normal

O histograma de freqüência é um gráfico de colunas que mostra a forma de dispersão da distribuição de freqüência de uma série de dados. Na forma de gráficos

de barras, as resultantes dos gráficos representam a freqüência com que certos eventos ocorrem, denominada distribuição de freqüência.

A curva normal é uma curva matemática teórica, baseada na equação de uma curva normal de Gauss. Baseia-se em dois parâmetros: a média e o desvio padrão, elementos que caracterizam uma determinada população no tocante a um aspecto qualquer, estudando e mensurando os integrantes dessa população.

O estudo do histograma com transposição de curva normal obteve uma confiabilidade de 95% .

47

4.2.2 Gráficos de Teste de Normalidade

Os gráficos de teste de normalidade foram preparados com o auxílio de um programa estatístico chamado "MiniTab 14" (gráficos 4.2.1 a 4.2.12). Os dados do estudo da resistência à compressão do concreto encontram-se no anexo1.

Gráfico 4.2.1 – Concreto convencional sem o uso de finos.

Gráfico 4.2.2 – Concreto convencional com o uso de finos.

48

Gráfico 4.2.3 – Concreto bombeado sem o uso de finos.

Gráfico 4.2.4 – Concreto bombeado com o uso de finos.

49

Gráfico 4.2.5 – Concreto convencional sem o uso de finos.

Gráfico 4.2.6 – Concreto convencional com o uso de finos.

50

Gráfico 4.2.7 – Concreto bombeado sem o uso de finos.

Gráfico 4.2.8 – Concreto bombeado com o uso de finos.

51

Gráfico 4.2.9 – Concreto convencional sem o uso de finos.

Gráfico 4.2.10 – Concreto convencional com o uso de finos.

52

Gráfico 4.2.11 – Concreto bombeado sem o uso de finos.

Gráfico 4.2.12 – Concreto bombeado com o uso de finos.

53

Analisando os gráficos 4.2.1 a 4.2.12, observa-se que os resultados encontrados no estudo de caso podem ser estatisticamente considerados coerentes, pois estão próximos da linha eixo existente.

Nos dados da extremidade, verifica-se uma pequena variação em relação ao eixo, conseqüência de alguma falha no processo, como falha na moldagem do CPs, falha na caracterização da resistência, falha na cura do corpos-de-prova, entre outras.

As amostras apresentam uma distribuição normal, o que pode ser comprovado

através da análise do histograma, como será feito no item a seguir.

4.3 GRÁFICOS DO HISTOGRAMA COM A CURVA NORMAL

Os gráficos do histograma com a curva normal foram elaborados também com o auxílio do programa estatístico chamado “MiniTab 14” (gráficos 5.3.1 a 5.3.12). Os dados do estudo da resistência à compressão do concreto encontram-se no anexo1.

Gráfico 4.3.1 – Concreto convencional sem o uso de finos.

54

Gráfico 4.3.2 – Concreto convencional com o uso de finos.

Gráfico 4.3.3 – Concreto bombeado sem o uso de finos.

55

Gráfico 4.3.4 – Concreto bombeado com o uso de finos.

Gráfico 4.3.5 – Concreto convencional com o uso de finos.

56

Gráfico 4.3.6 – Concreto convencional com o uso de finos.

Gráfico 4.3.7 – Concreto bombeado sem o uso de finos.

57

Gráfico 4.3.8 – Concreto bombeado com o uso de finos.

Gráfico 4.3.9 – Concreto convencional sem o uso de finos.

58

Gráfico 4.3.10 – Concreto convencional com o uso de finos.

Gráfico 4.3.11 – Concreto bombeado sem o uso de finos.

59

Gráfico 4.3.12 – Concreto bombeado com o uso de finos.

Os gráficos apresentados possuem inicialmente uma transposição do gráfico de histograma com a curva de Gauss. Eles demonstram a distribuição dos valores do ensaio de resistência do concreto.

Em seguida, será apresentada uma pré-análise dos valores obtidos da variação da mediana das distribuições. Dessa forma, é possível saber qual seria a discrepância dos valores com relação à mediana.

Os referidos gráficos revelam dois intervalos de confiança amostral com uma confiabilidade do intervalo de 95%. O primeiro intervalo está relacionado com a média dos resultados obtidos, e o segundo com a mediana da curva Gaussiana.

4.4 GRÁFICOS DE SOBREPOSIÇÕES DA CURVA NORMAL

Os gráficos da curva normal sobreposta dos resultados do concreto, sem a utilização de finos e com a utilização de finos, foram desenvolvidos com o auxílio do

programa estatístico “MiniTab 14” (gráficos 4.4.1 a 4.4.6). Os dados do estudo da resistência à compressão do concreto encontram-se no anexo1.

60

Gráfico 4.4.1 – Concreto convencional de resistência característica de 20MPa com e

sem o uso de finos.

Gráfico 4.4.2 – Concreto bombeado de resistência característica de 20MPa com e sem o uso de finos.

61

Gráfico 4.4.3 – Concreto convencional de resistência característica de 25MPa com e sem o uso de finos.

Gráfico 4.4.4 – Concreto bombeado de resistência característica de 25MPa com e sem o uso de finos.

62

Gráfico 4.4.5 – Concreto convencional de resistência característica de 30MPa com e sem o uso de finos.

Gráfico 4.4.5 – Concreto bombeado de resistência característica de 30MPa com e sem o uso de finos.

63

Os gráficos por superposição da curva normal mostram que há uma semelhança entre os dois tipos de concreto, com e sem o uso de finos. Nas curvas gaussianas, quanto maior a amplitude e menor a dispersão dos valores obtidos, menor será a variabilidade da amostra e, quanto menor a sua amplitude e maior a sua dispersão, maior será a variabilidade dos valores amostrais. No entanto, não houve a constatação de variações significativas, tanto para a dispersão como para a amplitude.

Em uma outra análise, verifica-se que o deslocamento do ápice das curvas gaussianas umas das outras representa uma variação da resistência média amostral. Essa variação está relacionada com o ganho ou a perda de resistência, resultante de concretos com ou sem finos na mistura.

Com os resultados, ficou aparente que não houve uma variação no comportamento do material provocada pela adição de finos. Observou-se também que, para os concretos bombeados, a variação foi menor ainda quando comparada aos concretos convencionais. Tal fato pode ser atribuído aos finos adicionados, que possibilitaram uma melhor condição de homogeneização do material, e a uma maior garantia de eficiência do traço, uma vez que uma maior quantidade de finos auxilia na bombeabilidade do concreto.

64

5 CONCLUSÃO GERAL DO TRABALHO

Os resultados de laboratório não foram coerentes se comparados aos resultados alcançados na central dosadora. Deve-se ressaltar que o procedimento laboratorial ocorreu numa escala bem menor que a da usina de concreto, seguindo procedimentos específicos. No entanto, não se pode descartar a possibilidade de uma falha humana no ajuste ou na obtenção do resultado do abatimento, por exemplo. O fato de se ter empregado todos os materiais em estado seco, inclusive os finos, pode ter produzido alterações. Apesar disso, foi possível chegar às seguintes conclusões gerais:

- Nos ensaios de Difractometria, conforme tabela 2.3 a 2.5, constata-se a presença de clínquer anidro na composição da água reciclada, isto é, a presença de clínquer não hidratada.
- Conforme a tabela 2.1, a água reciclada com finos obteve um pH acima de 12 e não apresentou açúcar em sua composição. Tal fato é

importante, pois são dois parâmetros essenciais para uma pré-análise da utilização de finos em concretos.

- Nos ensaios de laboratório, a variação da resistência média do concreto com o consumo de finos entre 10 kg/m³ e 15 kg/m³ foi muito pequena, o que pode ser indicada como uma faixa interessante para se iniciar a utilizar finos, conforme Gráfico 3.1.

Mesmo com algumas variações entre os resultados do laboratório e os resultados da usina, é possível definir que o uso de finos no concreto não apresenta riscos ao desempenho do material no que tange à sua resistência à compressão, desde que os tipos de materiais utilizados e a dosagem do concreto sejam objetos de um estudo prévio. Por fim, pode-se afirmar que:

- Na análise da aderência das famílias amostrais à curva normal, houve uma coerência nos dados tanto nos casos dos concretos

65

convencionais ou bombeados, como também nos casos com ou sem o uso de finos. Isso pode estar associado ao baixo consumo de finos no concreto, que praticamente em nada contribuiu para as variações significativas em seu comportamento.

- Nos gráficos do Histograma com Curva Normal, item 4.3, o uso de finos no concreto auxiliou na melhoria da homogeneidade dos resultados do intervalo de confiabilidade estatística. A análise dos resultados é feita comparando os valores de confiabilidade com a mediana e a média da amostra.

- As variações dos resultados do desvio padrão dos concretos obtidos na usina dosadora e, em maior proporção, no laboratório foram menores quando se utilizou finos na composição do concreto.

- Nas curvas normais, todas as médias das amostras estavam dentro do intervalo de confiança usado como referência para comparação.

Apenas a mediana do concreto bombeado de fck = 20MPa não atingiu o valor desejável, o que pode ser atribuído a uma maior dispersão dos resultados encontrados para a amostra com finos. Observou-se que quanto maior é a resistência do concreto, maior é a sobreposição das curvas normais, conforme gráfico 4.4.5.

O estudo demonstrou que a utilização de finos no concreto não impacta de maneira negativa no comportamento do material, mostrou que o uso desses materiais é uma alternativa interessante e, acima de tudo, importante para a destinação do rejeito da construção civil.

O processo de reuso de materiais da construção civil, que ainda hoje são descartados no meio ambiente, é de suma importância do ponto de vista ambiental, social, cultural e econômico.

Como já previsto pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA -, a emergência em encontrar alternativas para dirimir os resíduos provenientes de vários setores da indústria brasileira, e mesmo acabar com eles, foi traduzida em leis

66

que deverão ser cumpridas. O reuso de finos, como demonstrado aqui, já faz parte

dessa realidade.

A reciclagem de concretos rejeitados ampliou a consciência das pessoas e das empresas envolvidas no processo de implementação e de aprendizado deste estudo. A importância do reaproveitamento foi percebida como um todo na empresa, desde a coleta seletiva do lixo, passando pela impressão desnecessária de documentos, até a consciência do desperdício e do mal uso de produtos e serviços dentro da própria casa.

Além das questões ambientais, sociais e culturais, vale lembrar a redução que essa prática pode proporcionar, por exemplo, no consumo de água, no custo de descarte de resíduos e nos gastos com impactos ambientais.

Há muito por se fazer. O estudo aponta ainda algumas dificuldades encontradas na nossa legislação, como a falta de uma norma que estabeleça padrões de reuso de água reciclada, problemas na viabilidade econômica para aquisição e implementação do processo de reciclagem de concreto em usinas dosadoras, e para estudos e publicações nacionais.

67

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for*

Lenght Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete. Designation C

157-93, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Practice for Use*

of Apparatus for the Determination of Lenght Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete. Designation C 490-96, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE

CONCRETAGEM. *Concreteiras têm Programa de Gestão Ambiental*. São Paulo,

2001. Disponível em:<<http://www.abesc.org.br/meio/gestao.htm>>. Acesso em

janeiro

de 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR-7212 -

Execução de concreto dosado em central.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR 10004 -

Resíduos sólidos

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). NBR- 12655 -

Preparo, controle e recebimento de concreto.

ASSOCIATED GENERAL CONTRACTORS. *The Benefits of Recycling*. USA (2001).

Disponível em:<<http://www.rmci-usa.com/benefits.htm>>. Acesso em agosto de 2004

e fevereiro de 2005.

BUTTLE, A. M. (2003). *Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto*

– *Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados*. São Carlos, 2003. 199p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia

de São Carlos, Universidade de São Paulo.

68

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2002). *Resolução CONAMA 307 de 05 de julho de 2002*. Disponível em: <<http://www.conama.org.br>>. Acesso em: Janeiro de 2005.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (1996). *Perdas de Materiais na Construção Civil*. Disponível em: <<http://www.pcc.usp.br/pesquisa/perdas>>. Acesso em Dezembro de 2004.

FRANZONI, E.; SANDROLINI, F. *Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants*. *Cement and Concrete Research*, v.31, n.3, p.485-489. CALIFÓRNIA, USA, 2001.

HANKE, V. (2003). *Recycling Fresh Concrete*, Disponível em: <http://www.dorner.at/presse/03_07_30_frischbetonrecycling.htm> Acesso em: Setembro de 2005.

LIEBERR (2004). *Reciclador de Concreto Residual* [CD ROM]. Vs. 1.0, julho

MATTOS, G.; WAGNER, L. (1999). *Consumption of Materials in the United States 1900-1995*. US Geological Survey.

MINITAB 14,- Programa para auxílio estatístico V.2003.

REZENDE, L. (2001). *Reciclagem de Concreto Residual em Centrais Dosadoras*. http://www.abesc.org.br/meio/reciclagem_concreto.htm (mar/2005).

REZENDE, L.; LEVY, S. M.; DJAUNIKIAN, J. G. (1996). Tratamento e Disposição de

Concreto Residual em Centrais Dosadoras. IN: Reunião do Ibracon, 38, Ribeirão Preto, 1996. Anais, São Paulo, Ibracon, 1996

SANTIAGO, R; KALINTZIS, C. (2004). *Recicladores de concreto no estado fresco em obra*, Simpósio de Gestão da Inovação de Negócios (2004)

69

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA CIMENTEIRA – SNIC (2004). <http://www.snic.com.br> (dez/2004)

SZECSY, R. Gray-Water Compensation. *Concrete Product Magazine* n° 89, USA, Set 2003.

VICKERS, G. Gray-Water, Recycling Basics. Hanley-Wood, USA, 2002.

70

BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTAR

BRITO, L. A. et al. *Utilização de entulho de construção civil como agregado graúdo para a confecção de novos concretos*. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e

a Reciclagem na Construção Civil: materiais reciclados e suas aplicações, p. 203 – 214. São Paulo, 2001.

CHENNA. S. I. M. *Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção*. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: materiais reciclados e suas aplicações, p. 28 – 45. São Paulo, 2001.

RICKERT J V. *Einfluss von Restwasser Aus dem Frischbentrecycling auf die Einschaten von Frischund Festbeton*. Trabalho técnico publicado na Alemanha 1997.

SANCHES, J. G. B. *Novos materiais para construção civil: a necessidade do controle*

nas obras. Ribeirão Preto, SP.

SCHWING STETTER (2000). *Reciclador de Concreto Residual* [CD ROM]. Vs. 1.1, Dezembro

SILVA, I. J. (2000). *Contribuição ao Estudo dos Concretos de Elevado Desempenho:*

Propriedades Mecânicas, Durabilidade e Microestrutura. São Carlos, 279p., Tese (Doutorado), Área Interinidades – Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo.

SILVA, P. F.; PITTA, A. C. (2000). *A Importância da Retração Hidráulica na Durabilidade das Estruturas de Concreto* [CD-ROM]. IN: 42º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Fortaleza, Ceará, IBRACON.

SOROUSHAN, P.; TAVAKOLI, M. (1996). *Strengths of Recycled Aggregate Concrete Made Using Fuel-Demolished Concrete as Aggregate*. Journal of American Concrete Institute Proceedings, v.93, n.2, p.182-190, March-April.

71

TAKEUTI, A. R.; HANAI, J. B. (2002). *Capacidade Resistente de Pilares de Concreto*

Armado Pré-Carregados Reforçados por Meio de Encaixamento com Concreto de Alto Desempenho [CD-ROM]. In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, Minas Gerais, IBRACON, 14p.

TERANISHI, K.; DOSHO, Y.; NARIKAWA, M.; KIKUSHI, M. (1998), *Application of Recycled Aggregate Concrete for Structure Concrete*. Part 3 – Production of Recycled Aggregate by Real-Scale Plant and Quality of Recycled Concrete Aggregate. In: DHIR, R. K. et al. Proceedings of the International Symposium: “Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate”, Thomas Telford, London, p. 69-82.

TOMOSAWA, F.; NOGUCHI, T. (1996), *Completely Recyclable Concrete*. In: E & F SPON. *Integrated Design and Environmental Issues in Concrete Technology*, p.263-

272.

TOPÇU, I. B.; GUNÇAN, N. F. (1995), *Using Waste Concrete as Aggregate. Cement*

and Concrete Research, v.25, n.7, p.1385-1390.

UNIVERSIDADE LIVRE DO MEIO AMBIENTE (2001), *Construção e Meio Ambiente*

na Inglaterra. <http://www.unilivre.org.br/> (abril/2004).

72

ANEXO DOS RESULTADOS OBTIDOS DA CENTRAL DOSADORA

JULHO – 2004

fck – 20 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 20 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 25 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 25 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 30 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 30 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

AGOSTO – 2004

fck – 20 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 20 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 25 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 25 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 30 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 30 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

SETEMBRO – 2004

fck – 20 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 20 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 25 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 25 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 30 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 30 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

73

OUTUBRO – 2004

fck – 20 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 20 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 25 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 25 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 30 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 30 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

NOVEMBRO – 2004

fck – 20 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 20 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 25 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 25 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 30 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 30 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

DEZEMBRO – 2004

fck – 20 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 20 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 25 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 25 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm

fck – 30 MPa – abatimento 60 mm ± 10 mm

fck – 30 MPa – abatimento 100 mm ± 20 mm