

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

MICHELLY LORENA BORGES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM CENTRAIS DOSADORAS, MISTURADOS
EM CAMINHÃO BETONEIRA E DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM CENTRAIS MISTURADORAS**

Goiânia
2009

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM CENTRAIS DOSADORAS, MISTURADOS
EM CAMINHÃO BETONEIRA E DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM CENTRAIS MISTURADORAS**

MICHELLY LORENA BORGES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM CENTRAIS DOSADORAS, MISTURADOS
EM CAMINHÃO BETONEIRA E DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM CENTRAIS MISTURADORAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais
Orientador: Prof. Dr. André Geyer

Goiânia
2009

MICHELLY LORENA BORGES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM CENTRAIS DOSADORAS, MISTURADOS
EM CAMINHÃO BETONEIRA E DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM CENTRAIS MISTURADORAS**

Dissertação defendida no Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do grau de Mestre, aprovada em ____ de ____ de _____, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. André B. Geyer - UFG
Presidente da Banca

Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian - UFRGS

Prof. Dr. Orlando Ferreira Gomes - UFG

Ao meu amor e companheiro que me impulsionou durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Dr. André Geyer pelo seu profissionalismo, conhecimento e extrema competência, que foram fatores importantes para o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

À minha família que me apoiou durante as dificuldades e compreendeu minha ausência em outros momentos.

Às minhas amigas que me ouviram e suportaram as reclamações mediante os problemas encontrados.

E principalmente ao meu marido e companheiro que me incentivou a ser mestre em engenharia civil, me ouviu em todos os momentos e sempre disse coisas pertinentes que me confortaram ao longo desses anos de estudo e dedicação.

E, acima de tudo, agradeço a Deus por me capacitar e encorajar a enfrentar os desafios que surgiram, me fazendo crescer a cada passo percorrido.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... | 8 |
| LISTA DE TABELAS..... | 10 |
| RESUMO..... | 11 |
| ABSTRACT..... | 12 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA..... | 13 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA..... | 14 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 17 |
| 1.3.1 Objetivos gerais..... | 17 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 18 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 18 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 20 |
| 2.1 CONCRETO DOSADO EM CENTRAL..... | 20 |
| 2.1.1 Definição..... | 20 |
| 2.1.2 Breve histórico no Brasil..... | 20 |
| 2.2 TIPOS DE CENTRAIS..... | 21 |
| 2.2.1 Centrais Dosadoras..... | 22 |
| 2.2.1.1 Central dosadora vertical..... | 22 |
| 2.2.1.2 Central dosadora horizontal..... | 23 |
| 2.2.1.3 Central Tow go..... | 24 |
| 2.2.1.4 Central do tipo caixa..... | 25 |
| 2.2.1.5 Carregamento manual..... | 25 |
| 2.2.1.6 Carregamento automatizado..... | 26 |
| 2.2.2 Centrais Misturadoras..... | 28 |
| 2.2.2.1 Central Compacta Misturadora..... | 29 |
| 2.2.2.2 Central Horizontal Misturadora..... | 31 |
| 2.2.2.3 Central Semi-móvel Misturadora..... | 33 |
| 2.3 PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DO CONCRETO..... | 34 |
| 2.3.1 Recebimento, armazenamento e caracterização dos materiais..... | 35 |
| 2.3.2 Proporcionamento dos materiais..... | 35 |
| 2.3.3 Mistura do concreto..... | 36 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.3.4 | Transporte do concreto | 39 |
| 2.3.5 | Recebimento do concreto na obra | 40 |
| 2.3.6 | Lançamento do concreto | 41 |
| 2.4 | CONTROLE DE QUALIDADE | 41 |
| 2.4.1 | Critérios segundo a norma NBR 7212 | 44 |
| 2.4.1.1 | Amostragem..... | 44 |
| 2.4.1.2 | Análise estatística..... | 44 |
| 2.4.2 | Critérios segundo a norma NBR 12655 | 47 |
| 3. | METODOLOGIA DA PESQUISA | 50 |
| 4. | ETAPA 1: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CONCRETOS PRODUZIDOS EM CENTRAL DOSADORA E CENTRAL MISTURADORA | 52 |
| 4.1 | AMOSTRA..... | 52 |
| 4.2 | METODOLOGIA..... | 53 |
| 4.2.1 | Caracterização dos materiais | 54 |
| 4.2.2 | Estudo de dosagem | 58 |
| 4.3 | RESULTADOS..... | 59 |
| 4.4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 62 |
| 4.4.1 | Cálculo do $f_{ck,est}$ segundo os critérios da NBR 12655 | 62 |
| 4.4.2 | Avaliação do desvio padrão e coeficiente de variação segundo os critérios da NBR 7212 | 64 |
| 4.4.3 | Análise de custo do consumo de cimento entre as duas centrais | 66 |
| 5. | ETAPA 2: AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DO CONCRETO DENTRO DO CAMINHÃO BETONEIRA | 67 |
| 5.1 | AMOSTRA..... | 67 |
| 5.2 | METODOLOGIA..... | 68 |
| 5.2.1 | Validação da amostra | 70 |
| 5.3 | RESULTADOS..... | 71 |
| 5.4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 74 |
| 5.4.1 | Análise estatística | 74 |
| 5.4.2 | Teste de significância | 76 |
| 5.4.3 | Teste de Duncan | 77 |
| 5.4.4 | Análise do nível de controle segundo os critérios da NBR 7212 | 78 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 80 |

| | |
|--|-----------|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 82 |
| ANEXO A – RESULTADOS DA CENTRAL MISTURADORA E DOSADORA..... | 85 |
| ANEXO B - VALORES CRÍTICOS DA DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT..... | 96 |
| ANEXO C - TESTE DE DUNCAN..... | 98 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|---------------|--|----|
| Ilustração 1 | Central dosadora vertical..... | 22 |
| Ilustração 2 | Central horizontal dosadora..... | 23 |
| Ilustração 3 | Central do tipo tow go..... | 24 |
| Ilustração 4 | Central do tipo caixa..... | 25 |
| Ilustração 5 | Central automatizada..... | 26 |
| Ilustração 6 | Interior de um balão com seus helicóides..... | 27 |
| Ilustração 7 | Caminhão betoneira com suas diversas partes..... | 27 |
| Ilustração 8 | Mistura do concreto dentro do caminhão betoneira..... | 28 |
| Ilustração 9 | Central Misturadora..... | 29 |
| Ilustração 10 | Central Compacta Misturadora..... | 30 |
| Ilustração 11 | Central Horizontal Misturadora..... | 31 |
| Ilustração 12 | Vista lateral dos misturadores de duplo eixo horizontal..... | 32 |
| Ilustração 13 | Vista superior dos misturadores de duplo eixo horizontal..... | 32 |
| Ilustração 14 | Central Semi-móvel Misturadora..... | 33 |
| Ilustração 15 | Central misturadora instalada no canteiro de obra..... | 37 |
| Ilustração 16 | Central dosadora com mistura caminhão betoneira..... | 38 |
| Ilustração 17 | Controle estatístico do concreto segundo a NBR 12655..... | 48 |
| Ilustração 18 | Etapas do Programa Experimental..... | 50 |
| Ilustração 19 | Centrais misturadora e dosadora..... | 52 |
| Ilustração 20 | Curva granulométrica para o agregado miúdo..... | 56 |
| Ilustração 21 | Curva granulométrica para o agregado graúdo..... | 57 |
| Ilustração 22 | Relação a/c X Resistência..... | 58 |
| Ilustração 23 | Relação a/c X Quantidade de agregado..... | 58 |
| Ilustração 24 | Quantidade de agregado X Consumo de cimento..... | 59 |
| Ilustração 25 | Gráfico:Comportamento da resistência à compressão na central misturadora.. | 60 |
| Ilustração 26 | Gráfico:Comportamento da resistência à compressão na central dosadora..... | 61 |
| Ilustração 27 | Corpos de prova moldados na obra..... | 67 |
| Ilustração 28 | Trechos onde os corpos de prova foram retirados..... | 68 |
| Ilustração 29 | Rompimento dos corpos-de-prova aos 28 dias..... | 69 |

Ilustração 30 Gráfico: Comportamento da resistência à compressão dentro do caminhão
betoneira.....73

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 1 | Coefficiente d_2 , (NBR 7212)..... | 45 |
| Tabela 2 | Classificação do controle da qualidade do concreto em termos de desvio-padrão (NBR 7212)..... | 46 |
| Tabela 3 | Classificação do controle da qualidade do concreto em termos de coeficiente de variação (NBR 7212)..... | 46 |
| Tabela 4 | Valores para formação de lotes de concreto (NBR 12655)..... | 49 |
| Tabela 5 | Definição dos lotes conforme NBR 12655..... | 53 |
| Tabela 6 | Resultados do peneiramento do agregado miúdo..... | 54 |
| Tabela 7 | Caracterização do agregado miúdo..... | 55 |
| Tabela 8 | Resultados do peneiramento do agregado graúdo..... | 55 |
| Tabela 9 | Caracterização do agregado graúdo..... | 56 |
| Tabela 10 | Dados técnicos do aditivo mastermix 390 RB..... | 57 |
| Tabela 11 | Cálculo do $f_{ck,est}$ conforme a NBR 12655 para a central misturadora..... | 63 |
| Tabela 12 | Cálculo do $f_{ck,est}$ conforme a NBR 12655 para a central dosadora..... | 63 |
| Tabela 13 | Classificação do controle da qualidade do concreto em termos de desvio-padrão e coeficiente de variação (NBR 7212)..... | 65 |
| Tabela 14 | Cálculo da amostra..... | 70 |
| Tabela 15 | Resistência à compressão dos corpos de prova retirados do caminhão betoneira..... | 71 |
| Tabela 16 | Cálculo dos parâmetros estatísticos..... | 75 |
| Tabela 17 | Análise de significância da variável caminhão/ponto..... | 77 |
| Tabela 18 | Classificação do nível de controle pelo desvio padrão (NBR 7212)..... | 78 |
| Tabela 19 | Classificação do nível de controle pelo coeficiente de variação (NBR 7212)..... | 79 |

RESUMO

Em razão do pouco número de estudos relacionados ao processo de produção do concreto dosado em central, no que tange ao tipo de mistura empregada, esta pesquisa busca contribuir com a avaliação da qualidade de concretos produzidos em centrais misturadoras e centrais dosadoras.

O objetivo principal do trabalho foi o de verificar se a forma de mistura do concreto pode afetar suas características no estado endurecido (resistência à compressão), para isso, foi comparada a qualidade do concreto produzido em central dosadora e misturado em caminhão betoneira em relação aos produzidos em central misturadora. Como amostra tomou-se uma obra, onde havia instalada uma central dosadora e uma central misturadora, que juntas produziram 300.000 m³ de concreto a partir dos mesmos materiais. Ainda dentro do objetivo proposto, foram também quantificados estatisticamente os tipos de concreto existentes em um mesmo caminhão betoneira, produzidos na central dosadora e tendo como parâmetro a resistência à compressão.

Ao final, foi possível concluir que as centrais misturadoras produzem um concreto de melhor qualidade com um menor desvio padrão do que as dosadoras. Foi observada também uma variabilidade significativa dentro do caminhão betoneira, o que tornou possível a divisão do concreto em cinco grupos, com resistências distintas.

Palavras-chave: concreto usinado, central dosadora, central misturadora, caminhão betoneira.

ABSTRACT

Due to the small number of studies about the process of production of the concrete dosed in central, as regards the type of employed mixture, this inquiry looked to contribute to the assessment of quality of concrete produced in mixing plant and metering plant.

The principal objective of the work was checking if the form of mixing of the concrete can affect your characteristics in hardened state (compressive strength), for that, there was compared the quality of the concrete produced in metering plant and mixed in truck mixer in relation to the mixing plant. As the sample was taken a work, where they had installed a metering plant and a mixing plant, which together produced 300.000 m³ of concrete with the same materials. Inside the proposed objective, also were quantified statistically the existent types of concrete in the same truck mixer, using as the parameter the compressive strength of concrete produced in the metering plant.

In the end, it was possible to conclude that the mixing plant produce a concrete of better quality with a less standard deviation than the metering plant. Was also observed a significant variability inside the truck mixer, which made the division of the concrete possible in five group, with different resistances.

key words: concrete produced in central, metering plant, mixing plant, truck mixer.

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Seja pela necessidade crescente de se construir com qualidade, economia e rapidez; o desafio de se obter grandes resistências ou para atender as determinações das normas, a tecnologia do concreto não para de evoluir, o que consolidou o concreto dosado em central no mercado mundial.

A utilização do concreto dosado em central possibilita a racionalização do processo construtivo, maior produtividade no canteiro de obras, melhores condições para garantia da qualidade através de programas implantados nas centrais, além da redução de custos por metro cúbico de concreto lançado, redução do desperdício, entre outras vantagens (ABESC, 2007).

No Brasil, em 2002, foram produzidos 16,5 milhões de m³ de concreto em central. Atualmente, a produção anual já está em torno de 30 milhões de m³. Todavia, existem ainda claras perspectivas de expansão do mercado nacional. Atualmente, o país atravessa uma fase de substituição dos processos elementares de preparo do concreto em obra pela utilização dos serviços especializados de concretagem, os quais representam um processo evolutivo da construção civil em todo mundo (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2003; TÉCHNE, 2009).

Como consequência, a evolução do setor conduz ao aumento do consumo e as centrais de concreto, passam a ter responsabilidades muito maiores com a dosagem e o controle da qualidade do produto fornecido. De acordo com a revista *Téchne* (2009), uma queixa generalizada vem sendo espalhada em diversas regiões do país, pois o material entregue não estaria atingindo a resistência característica à compressão exigida nos projetos estruturais. As suspeitas recaem diretamente sobre as empresas de concretagem (concreteiras), fornecedoras do material. E quando a baixa resistência de um determinado lote de concreto é identificada, começa um longo e extenuante caminho para o construtor, gerando atrasos no cronograma, que podem até inviabilizar economicamente um empreendimento. Em casos assim, pode-se enfrentar desde prejuízos financeiros decorrentes de um trabalho pontual até o comprometimento da margem de lucro (TÉCHNE, 2009).

Portanto, torna-se necessário o estabelecimento de novos parâmetros que orientem a maneira de preparar o concreto, que estabeleçam como realizar seu controle tecnológico e que imponham limites de aceitação. A relevância deste trabalho está baseada na busca pelo aprimoramento do processo de produção do concreto dosado em central, pois será estudada a influência do método de mistura na produção do mesmo e de que forma esta variável afeta a homogeneidade e qualidade do concreto. Acredita-se que métodos mais adequados de mistura podem contribuir para a melhoria da qualidade do concreto.

1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA

O concreto dosado em central é o concreto executado pelas empresas prestadoras de serviços de concretagem (concreteiras) ou em obras de grande porte onde são instaladas centrais. O preparo dos seus materiais componentes (cimento, água, areia, brita e aditivos) é feita seguindo as normas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas através do CB-18- Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados. As normas que orientam sobre a perfeita utilização do concreto são:

- NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (ABNT, 2007);
- NBR 7212 - Execução do Concreto Dosado em Central (ABNT, 1984);
- NBR 12654 - Controle Tecnológico dos Materiais Componentes do Concreto (ABNT, 1992);
- NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento (ABNT, 2006);
- NBR 8953 - Concreto para Fins Estruturais – Classificação por Grupos de Resistência (ABNT, 1992).

Estas normas técnicas estabelecem requisitos importantes a serem cumpridos, com o intuito de produzir um concreto com qualidade, no entanto, mediante as necessidades de avanços e o desenvolvimento da tecnologia, torna-se necessário o investimento em novas pesquisas para aprimoramento da produção. E neste contexto, o tipo de mistura pode ser uma variável que tem influência significativa na qualidade do concreto. A norma NBR 7212 cita os

tipos de mistura existentes, podendo ser em central misturadora ou em caminhão betoneira, contudo, não menciona qualquer benefício na adoção de um ou outro método. Segundo Neville (1997), a influência dos equipamentos de produção de concreto na variabilidade dos resultados também deve ser observada, como por exemplo, na mistura. A mistura é uma operação importante na produção de concretos, em busca da homogeneidade da massa. Por isso, como há poucos estudos referentes ao processo de mistura do concreto dosado em central, esta pesquisa terá o objetivo de contribuir com novos dados para esta área.

De acordo com a matéria publicada na revista *Téchne* (2009), “Concreto não conforme”, são muitos os fatores que podem contribuir para a obtenção de um valor de resistência abaixo da resistência característica de projeto. Notificações de concreto abaixo da resistência não são novidade na história, conforme é lembrado por profissionais da área. Alguns anos atrás houve uma grande quantidade de concretos que chegavam as obras com resistência abaixo da especificada. As empresas de concretagem estavam adicionando escórias e outros materiais no concreto sem conhecer suas potencialidades. Com a regulamentação da situação, por meio de normas técnicas, a situação melhorou, no entanto, ainda existem concretos com resistência abaixo do especificado, persistindo o problema. Segundo a matéria da *Téchne* (2009), alguns dos problemas apontados como possíveis causas para a não conformidade do concreto, são:

- Equipamentos de dosagem;
- Materiais de má qualidade;
- Dosagem inadequada;
- Caminhões com betoneiras inadequadas (pás internas do tanque misturador pequenas demais);

Por isso, mesmo que as empresas de concretagem assumam os custos referentes aos reparos das estruturas que apresentam resistência abaixo do especificado pelos projetistas, as mesmas não estão imunes às responsabilidades, pois estes reparos geram atrasos nas obras e transtornos, como a realização de reforços estruturais e até da demolição da estrutura. O que reforça a importância do desenvolvimento de pesquisas na área do concreto dosado em central.

No Brasil, as empresas de concretagem utilizam apenas o caminhão betoneira para a mistura do concreto, o que gera questionamentos, pois se acredita que a central misturadora possa garantir um concreto de melhor qualidade. Alguns pontos podem estar associados ao fato de se utilizar apenas o caminhão betoneira como equipamento de mistura, como:

- Falta de espaço nas empresas ou na obra para locação das centrais estacionárias misturadoras;
- Alto custo para aquisição destas centrais;
- Funcionalidade do caminhão betoneira, pois promove a mistura e o transporte em um único equipamento;
- Falta de informação em relação aos benefícios das centrais misturadoras, como a otimização do processo de mistura, a redução do consumo de cimento, além dos ganhos de qualidade no concreto (SCHWING STETTER, 2008);
- E por fim e mais importante, a legislação vigente pode ser também um dos fatores que limita o uso de centrais misturadoras.

No Brasil, as empresas de concretagem se enquadram na tributação de impostos como prestadoras de serviço, incidindo apenas o ISS (imposto sobre serviço). De acordo com o subitem 7.02 da lista de serviços anexada a lei complementar 116/2003, “constitui prestação de serviço o fornecimento em obras de construção civil, da massa úmida composta de cimento, pedra britada, areia e água (concreto pré misturado), cujos componentes são tecnicamente dosados sob percentuais calculados por profissionais de engenharia, e transportados em veículos adequados até a obra em construção, onde sofrem processos posteriores de adensamento, homogeneização e compactação, fase em que se ultima a atividade de concretagem, sem dar ensejo a circulação de mercadoria”. Em outra situação, “o fornecimento de mercadorias produzidas pelo prestador de serviço fora do local da obra, que, como o referido item expressamente determina, passa a ser tributado pelo ICMS (imposto sobre circulação de mercadoria)”. Em resumo, quando a mistura acontece na obra em que contratou o serviço de concretagem, entende-se como prestação de serviço, em contrapartida, quando a mistura acontece nas centrais, em equipamentos estacionários, fora da obra, o serviço passa a ser considerado como mercadoria, incidindo então o ICMS. Logo, tal fato pode justificar a escolha das empresas de concretagem pela mistura na obra do contratante,

pois, na cidade de Goiânia, por exemplo, a tributação de ISS (imposto municipal) é de 2%, enquanto que para o imposto estadual (ICMS), o valor é de 17%.

Conduto, não só aspectos legais e tributários devem ser levados em consideração, porque para a construção civil, o importante, na maioria das vezes, são os ganhos na área técnica. E avaliando a situação atual, o consumo de concreto produzido em centrais no Brasil é alto, como já descrito e, mediante a possibilidade da existência de uma variabilidade significativa dentro do caminhão betoneira, um problema grave seria gerado, pois este concreto pode vir a criar pontos de concretagem com resistências distintas ao longo da estrutura e dependendo da variabilidade, pontos fracos.

Duas das mais desenvolvidas e poderosas sociedades atuais, os Estados Unidos e o Canadá, consideram o investimento no estudo das estruturas de concreto, como um dos mais importantes investimentos na ciência e tecnologia para obter e manter a qualidade de vida de seu povo e a liderança de seu parque industrial. Essas sociedades entendem que o profundo conhecimento sobre concreto posiciona e mantém a sua indústria na fronteira do conhecimento, assegurando sua alta competitividade (HELENE; ANDRADE, 2007).

Portanto, visando a melhoria do processo de produção e a garantia de um concreto de melhor qualidade, justifica-se esta pesquisa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos gerais

O objetivo principal deste trabalho é comparar a qualidade do concreto produzido em central dosadora e misturado em caminhão betoneira em relação a central misturadora. Além disso, avaliar se o concreto dosado em central pode apresentar uma variabilidade significativa em um mesmo caminhão betoneira e quais são as características destes concretos. Tanto para a avaliação da qualidade quanto para medir a variabilidade do concreto, o parâmetro adotado será a resistência à compressão aos 28 dias.

1.3.2 Objetivos específicos

a) Verificar se a forma de mistura do concreto pode afetar suas características no estado endurecido (resistência à compressão aos 28 dias), através de uma análise comparativa entre uma central misturadora e uma central dosadora que realiza mistura através de caminhões betoneiras. Além disso, realizar um comparativo de custo do consumo de cimento para as duas centrais.

b) Avaliar quantos são os tipos de concreto existentes em um mesmo caminhão betoneira produzidos em central dosadora e além disso, mensurar a variabilidade destas amostras. O ensaio para avaliar a problemática será o de resistência à compressão (aos 28 dias), que fornecerá subsídios para determinar a variabilidade e quantos são os grupos de concreto com resistências distintas, caso eles existam. Além disso, ainda dentro deste objetivo específico, será verificado se os exemplares retirados no terço médio do caminhão betoneira, como determina a NBR NM 33, são representativos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 faz uma introdução ao tema da pesquisa, apresentando um quadro geral do concreto dosado em central, bem como a motivação para o trabalho por meio da justificativa e dos objetivos gerais e específicos a serem alcançados.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica sobre o tema, incluindo uma breve descrição sobre o concreto dosado em central, além da abordagem dos diversos tipos de centrais dosadoras e misturadoras e por fim, o processo de produção do concreto dosado em central e as formas de controle de qualidade.

A metodologia geral da pesquisa está descrita no capítulo 3, onde foram caracterizadas as duas etapas em que o trabalho foi dividido.

No capítulo 4, é apresentada a descrição da etapa 1 da pesquisa, abordando a metodologia utilizada, a descrição do programa experimental, os resultados e sua respectiva análise.

No capítulo 5, é apresentada a descrição da etapa 2 da pesquisa, abordando a metodologia utilizada, a descrição do programa experimental, os resultados e sua respectiva análise.

O capítulo 6 traz as considerações finais, apontando as principais conclusões tiradas na pesquisa. Também são feitas sugestões quanto a trabalhos futuros relacionados ao tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO DOSADO EM CENTRAL

2.1.1 Definição

A NBR 7212 define o concreto dosado em central como “...concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou em caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início de pega do concreto, em local e tempo determinados, para que se processem as operações subseqüentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas”.

Alguns fatores são apontados como vantagens deste serviço em relação ao concreto produzido em obra e têm impulsionado o crescimento da indústria do concreto dosado em central no mundo (PRUDÊNCIO JR., 2004):

- Menor custo, em função do preço reduzido que as centrais têm ao comprar os materiais, além de se gastar menos no canteiro com manutenção de equipamentos, cuidados com o armazenamento dos materiais, energia elétrica, etc;
- Maior produtividade na obra em função do menor tempo gasto e menor equipe de concretagem;
- Maior uniformidade das características dos materiais, que são adquiridos de fornecedores específicos;
- Redução de desperdício e perda de materiais na obra, entre outros.

2.1.2 Breve histórico no Brasil

As primeiras centrais de concreto se instalaram no Brasil nos anos 50, quando as cidades brasileiras começavam a crescer e a indústria nacional estava sendo fortemente impulsionada pela chegada das primeiras montadoras de automóveis e das fábricas de

autopeças. Esta década foi marcada pelo entusiasmo do desenvolvimento, com a construção de grandes edifícios e novas ruas e avenidas em São Paulo para a comemoração do seu IV Centenário em 1954, culminando com a construção de Brasília, a capital do país, no final deste período (ABESC, 2003).

A primeira central de concreto nasceu em 1950, a partir da necessidade de uma empreiteira da capital paulista que iria construir um trecho de rodovia ligando São Paulo a Jundiaí. Na ocasião, os donos da empreiteira compraram dos Estados Unidos uma central dosadora, do tipo manual, com caminhão betoneira, que chamaram de Usina Central de Concreto S/A (UCC). Inicialmente, todo o concreto produzido era apenas para uso próprio da empresa, mas logo passou a ser comercializado com outras empreiteiras. Devido à grande demanda, a UCC abriu mais três filiais na capital paulista. Não demorou muito para que novas empresas de serviços de concretagem abrissem suas portas e se espalhassem por alguns estados brasileiros, como Rio de Janeiro, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (ABESC, 2003).

A partir dos anos 60, o setor de concreto dosado em central tem sua importância firmada definitivamente na construção civil, em função da racionalidade, facilidade e qualidade oferecidas. Este material tornou-se imprescindível nas obras que deram suporte ao desenvolvimento do país e ao longo dos anos vem evoluindo, se aperfeiçoando e tornando possível a realização dos mais importantes desafios de engenharia de concreto (ABESC, 2003).

2.2 TIPOS DE CENTRAIS

A central de concreto é um conjunto de instalações e equipamentos necessários para o armazenamento, manuseio, proporcionamento e carregamento dos materiais constituintes, homogeneização da mistura, transporte e lançamento do concreto, que assegurem a qualidade exigida. Essas instalações e procedimentos devem atender no mínimo ao que é estabelecido pela NBR 7212.

Uma central de concreto abrange serviços de administração, vendas, faturamento, cobrança, programação, controle de qualidade, assessoria técnica, treinamento e aperfeiçoamento profissional.

Existem diversos tipos de centrais de concreto, classificadas de acordo com sua disposição (vertical, horizontal ou mista), tipo de controle do proporcionamento (manual ou automático), equipamento de mistura (apenas dosadora ou dosadora e misturadora). A seguir serão descritos os tipos de centrais existentes, bem como alguns dos seus equipamentos.

2.2.1 Centrais Dosadoras

São as responsáveis pela dosagem dos materiais componentes do concreto e sua transferência para o equipamento de mistura. Estas centrais são compostas basicamente por silo de cimento, reservatórios para água e aditivo, balanças de cimento e agregados, hidrômetros, compressores e transportadores de correia. Podem ser classificadas em verticais ou horizontais (PORTAL DO CONCRETO, 2008).

2.2.1.1 Central dosadora vertical



Ilustração 1 – Central dosadora vertical (LIEBHERR, 2008)

Também chamadas de centrais de gravidade (Ilustração 1), têm-se destacado pela simplicidade dos acionamentos que envolve: a motorização elétrica é mínima, os elementos estruturais e de manuseio de material são mais robustos e menos sujeitos a desgaste (não se usam correias transportadoras, a não ser quando necessário para carregamento dos materiais componentes às caixas de agregado). A compactidade de grandes sistemas é mais viável, tornando as áreas ocupadas menores e as transmissões das balanças dosadoras mais simples. O inconveniente principal é a falta de mobilidade do equipamento. São instalações definitivas ou semipermanentes, para obras de longa duração ou mercados definidos (LIEBHERR, 2008);

2.2.1.2 Central dosadora horizontal



Ilustração 2 – Central horizontal dosadora (LIEBHERR, 2008)

As centrais dosadoras horizontais (Ilustração 2) exigem acionamentos motorizados em maior quantidade. Fundamentam-se no manuseio dos materiais por correias transportadoras. Estruturalmente são mais simples e as transmissões para as balanças dosadoras são mais trabalhosas. A mobilidade e as pequenas obras de fundação para sua instalação são seus maiores argumentos. O investimento inicial é normalmente inferior ao de uma usina gravimétrica (LIEBHERR, 2008);

A diferença básica que existe entre as **centrais dosadoras** está na forma de pesar os agregados (tow go ou caixa de agregados) e no tipo de carregamento do caminhão (manual ou automático) (PORTAL DO CONCRETO, 2008).

2.2.1.3 Central Tow Go

Como mostra a ilustração 3, a balança para a pesagem de agregados é alimentada diretamente pela pá carregadeira. Para realizar a transferência dos materiais para o caminhão, o operador abre uma comporta na parte inferior desta balança e aciona um transportador de correia. O tow go não pode ser automatizado (PORTAL DO CONCRETO, 2008).



Ilustração 3 – Central do tipo tow go (PORTAL DO CONCRETO, 2008).

2.2.1.4 Central do tipo caixa

Equipamento composto por uma balança e uma caixa com divisórias para armazenar, em média, de quatro a seis tipos de agregados, como demonstrado na ilustração 4. O operador efetua a pesagem abrindo as comportas dos materiais, conforme a seqüência e as quantidades determinadas no traço. Centrais com estes tipos de Caixa podem ser automatizadas (PORTAL DO CONCRETO, 2008).



Ilustração 4 – Central do tipo caixa (PORTAL DO CONCRETO, 2008)

2.2.1.5 Carregamento manual

O carregamento manual é aquele onde o operador de balança faz o controle da pesagem dos materiais e sua transferência para o caminhão. Para isto existe um painel de controle com botões para a abertura e fechamento de comportas, acionamento de transportadores de correia, insufladores de ar, vibradores, bombas d'água, etc (PORTAL DO CONCRETO, 2008).

2.2.1.6 Carregamento automatizado

Nas centrais automatizadas, o operador digita o código do traço e o volume a ser carregado no computador (Ilustração 5). Este por sua vez comanda o painel de controle e o operador interfere na dosagem se for constatado algum problema com a carga (PORTAL DO CONCRETO, 2008).



Ilustração 5 – Central automatizada (PORTAL DO CONCRETO, 2008)

Após a programação do traço do concreto, os materiais são lançados no caminhão betoneira para a mistura. Estes caminhões são providos de um balão rotativo com o eixo inclinado em relação a horizontal. No interior do balão, há um par de lâminas, ou barbatanas, que contornam o balão em uma configuração helicoidal (espiral) no sentido da “cabine” para a parte aberta (Ilustração 6). Esta configuração permite que a mistura seja mantida quando o balão gira em uma direção e descarregado quando a direção é revertida (PORTAL DO CONCRETO, 2008).

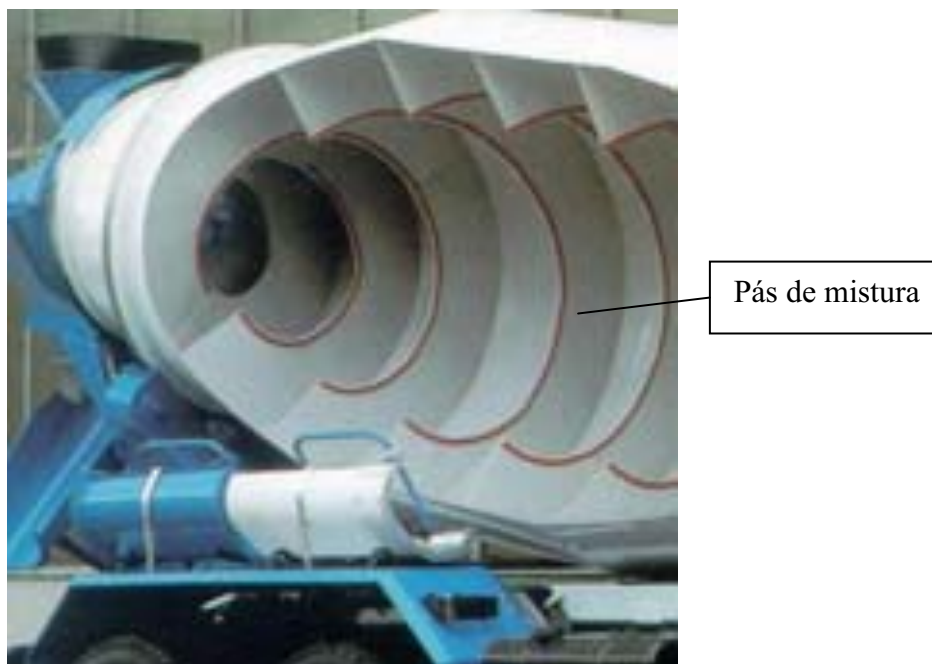


Ilustração 6 – Interior de um balão com seus helicóides (LIEBHERR, 2008).

A ilustração 7 apresenta um caminhão betoneira com suas diversas partes: cabine do motorista, reservatório de água (que também pode estar localizado sobre o redutor do balão), balão rotativo, redutor do balão (que promove sua rotação), funil (por onde são carregados os materiais) e calha de descarga do concreto (LIEBHERR, 2008).

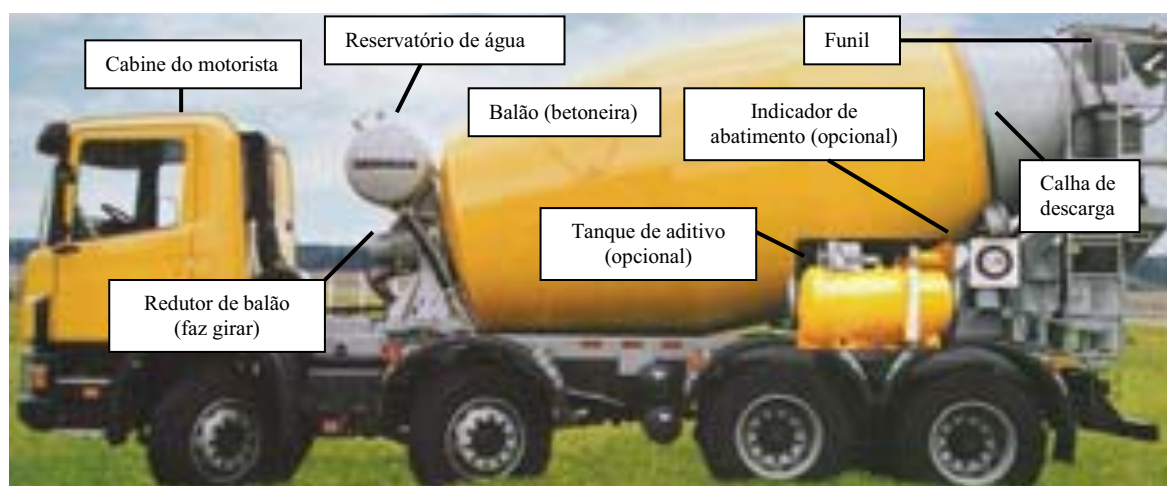


Ilustração 7 – caminhão betoneira com suas diversas partes (LIEBHERR, 2008).

Os materiais componentes são colocados no caminhão betoneira na ordem conveniente. Essa ordem e a velocidade de rotação para mistura devem obedecer às

especificações do equipamento ou conforme indicado por experiência, segundo a NBR 7212. A ilustração 8 mostra a mistura realizada dentro do caminhão betoneira.



Ilustração 8 – Mistura do concreto dentro do caminhão betoneira.

2.2.2 Centrais Misturadoras

São aquelas apropriadas a fazer a mistura dos materiais que vão compor o concreto, antes de sua transferência para o caminhão (PORTAL DO CONCRETO, 2008).



Ilustração 9 – Central Misturadora (PORTAL DO CONCRETO, 2008)

Após a dosagem nas centrais dosadoras, o concreto é misturado na central misturadora (Ilustração 9), que tem como resultado principal um concreto homogêneo, permitindo deste modo, que o mesmo seja transportado para o local da aplicação por caminhão betoneira (PORTAL DO CONCRETO, 2008).

2.2.2.1 Central Compacta Misturadora

A central misturadora compacta (Ilustração 10) para concreto é ideal para ser montada em locais onde o espaço físico é bastante limitado, ou seja, indústrias de estruturas pré-fabricadas, centros urbanos, canteiros de obras, produção de pisos e pequenos pavimentos. Podem ser utilizadas para produzir concreto convencional misturado, concreto rolado e argamassas (SCHWING STETTER, 2008).



Ilustração 10 – Central Compacta Misturadora (SCHWING STETTER, 2008)

O transporte do equipamento para o local de trabalho pode ser realizado através de carreta prancha normal, pois este equipamento se caracteriza basicamente pela construção em módulos. Os silos para agregados podem ser montados no sistema de estrutura metálica em forma de estrela, com abastecimento direto através de pá carregadeira, sistema de silos alinhados com cinta transportadora para o transporte dos agregados ou sistema de abastecimento de agregados construído em alvenaria com transporte através de grua (SCHWING STETTER, 2008).

As centrais misturadoras são montadas com misturador planetário com eixo simples vertical, misturador destinado à fabricação de concreto de alta qualidade. O misturador para concreto é revestido com placas de desgaste de alta resistência e simples manutenção, os braços são montados com molas alinhadas, com palhetas fundidas e articuladas (SCHWING STETTER, 2008).

O sistema de dosagem d'água, dos agregados, cimento e os aditivos são dosados no misturador através de balanças com células de carga, que garante maior confiabilidade e exatidão no sistema de dosagem e mistura do concreto (SCHWING STETTER, 2008).

2.2.2.2 Central Horizontal Misturadora

As centrais misturadoras horizontais para concreto (Ilustração 11), têm como principais características a robustez, informatização e qualidade dos periféricos. Podem ser utilizadas para produzir concreto convencional misturado, concreto rolado e argamassas (SCHWING STETTER, 2008).



Ilustração 11 – Central Horizontal Misturadora (SCHWING STETTER, 2008)

Os silos para agregados deste tipo de central são montados alinhados com uma cinta transportadora para o transporte dos agregados até sua balança de pesagem. Além disso, possuem misturador de duplo eixo horizontal, misturadores destinados a aplicações de alta eficiência, reduzindo assim, o consumo de cimento para a fabricação de um concreto com a mesma qualidade ao dosado e fabricado em auto betoneiras (SCHWING STETTER, 2008).

Os misturadores de duplo eixo horizontais (Ilustrações 12 e 13), também são ideais para a fabricação de concreto rolado. Todo o misturador é revestido com placas de desgaste, que geram maior resistência e os braços são forjados em aço, tendo assim resistência mecânica ao desgaste (SCHWING STETTER, 2008).

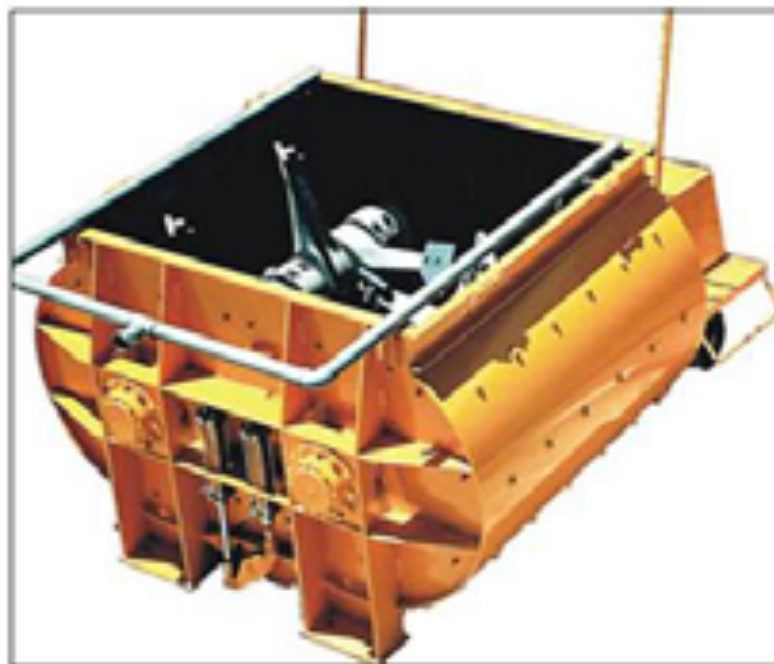


Ilustração 12 – Vista lateral dos misturadores de duplo eixo horizontal (BETONMAC, 2009)



Ilustração 13 – Vista superior dos misturadores de duplo eixo horizontal (BETONMAC, 2009)

O sistema de dosagem, dos agregados, cimento e os aditivos é promovido no misturador através de balanças com células de carga e a água através de sistema volumétrico e hidrômetro (SCHWING STETTER, 2008).

2.2.2.3 Central Semi-móvel Misturadora

A central misturadora semi móvel para concreto (Ilustração 14), tem como principais características a mobilidade, informatização, versatilidade de montagem e desmontagem, pois essas centrais são fabricadas e montadas na sua versão standard, com quatro silos para agregados, skip para pesagem e transporte dos agregados para o misturador de duplo eixo horizontal (SCHWING STETTER, 2008).



Ilustração 14 – Central Semi-móvel Misturadora (SCHWING STETTER, 2008)

Os silos para agregados são montados no sistema de estrutura metálica em forma quadricular com o abastecimento direto através de pá carregadeira ou opcionalmente através de correia transportadora e bica giratória de dosagem (SCHWING STETTER, 2008).

As centrais semi-móveis misturadora para concreto são montadas com o mesmo sistema de mistura e dosagem da central horizontal misturadora (SCHWING STETTER, 2008).

2.3 PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DO CONCRETO

A falta de conhecimento sobre a produção do concreto pode gerar diversas manifestações patológicas, pois apesar da simplicidade aparente do processo, a produção envolve um certo grau de conhecimento, para a obtenção de um produto final com qualidade (ANDRADE; DAL MOLIN, 1998).

Por isso, tendo como base as responsabilidades diretas de uma central, um conjunto de operações são importantes para se alcançar um concreto com características adequadas, como (ABESC, 2007):

- recebimento, armazenamento e caracterização dos materiais;
- dosagem (proporcionamento dos materiais);
- mistura dos materiais, de forma a obter homogeneidade e uniformidade;
- transporte para obra e dentro da obra;
- recebimento do concreto na obra;
- lançamento do concreto.

A maioria das causas de problemas de execução do concreto reside principalmente em procedimentos errados, ou pelo menos inadequados. Da central de dosagem do concreto ao laboratório que realiza o ensaio, são muitos os fatores que podem contribuir para que se obtenha um valor de resistência do concreto abaixo da esperada. Efetivamente, a responsabilidade da central de concreto é zelar pela qualidade do preparo do concreto e de seu transporte até o local de obra. Sua função é saber selecionar os insumos – cimento, areia, agregados, aditivo, e água –, conhecer a fundo o comportamento desses materiais, estar atenta à calibração de seus equipamentos, fazer a dosagem correta e garantir o transporte e a entrega adequados do concreto na obra (TÉCHNE, 2009).

Logo, é de extrema importância a determinação de requisitos para a produção do concreto dosado em central e a NBR 7212 fixa as condições exigíveis para a confecção dos concretos, evidenciando as etapas, desde o recebimento de materiais até a aceitação e rejeição dos concretos produzidos nas centrais.

Nos itens a seguir, serão descritas as diferentes etapas do processo de execução do concreto dosado em central.

2.3.1 Recebimento, armazenamento e caracterização dos materiais

Pode-se dizer que o início do processo de produção do concreto se dá no recebimento dos seus materiais constituintes. Portanto, esta deve ser uma etapa controlada, pois a qualidade destes materiais é de fundamental importância para que se atinjam as características especificadas para o concreto a ser dosado na central.

De acordo com a NBR 12654, todos os materiais utilizados na fabricação do concreto devem passar por ensaios de qualificação antes de ser iniciado o fornecimento, em função dos requisitos necessários. Durante o recebimento dos materiais, segundo a mesma norma, devem ser coletadas amostras de todos os lotes recebidos para realização de ensaios de qualificação. A única exceção é a água de amassamento, que deve ser ensaiada para qualificação apenas quando houver indício de alteração da sua qualidade.

Quanto ao armazenamento dos materiais, segundo a NBR 7212, deve-se fazê-lo em locais ou recipientes apropriados, de modo a não permitir a contaminação por elementos indesejáveis e também não se devem misturar materiais de mesma espécie e diferentes procedências. Além das condições específicas de armazenamento que são definidas pela NBR 12655.

2.3.2 Proporcionamento dos materiais

A fase de proporcionamento dos materiais do concreto inicia com a aferição das balanças e finaliza com o carregamento destes no caminhão betoneira. As balanças devem passar por aferições periódicas e regulares para garantir a qualidade do processo de produção. Após a pesagem destes materiais, o proporcionamento é comandado pelo operador, que realizará a pesagem de acordo com o traço especificado, para uma determinada resistência característica ou outro parâmetro. A quantificação e pesagem dos materiais também são controladas, os mesmos devem ser dosados separadamente, e seguem determinações

normativas referente as unidades de medição (massa ou volume, por exemplo), segundo NBR 7212.

Em geral, não existem regras para a ordem de carregamento dos materiais, pois isso depende das propriedades dos componentes do concreto e do equipamento de mistura. O principal objetivo ao se estabelecer uma seqüência de mistura deve ser a completa mistura de todos os materiais componentes, de forma a se obter uma massa homogênea, com facilidade de produção. A NBR 7212 não especifica uma seqüência de colocação dos materiais no caminhão betoneira, apenas recomenda que “...deve estar de acordo com as especificações do equipamento ou conforme indicado por experiência”.

2.3.3 Mistura do concreto

A mistura pode ocorrer de duas maneiras, dependendo do tipo de central de concretagem, sendo elas: mistura completa em equipamento estacionário e mistura completa em caminhão betoneira. No entanto, independente do tipo de mistura, a NBR 7212 não estabelece velocidade e número de revoluções, bem como tempo de mistura, recomendando apenas que sejam obedecidas as especificações do equipamento.



Ilustração 15 – Central misturadora instalada no canteiro de obra

A produção de concretos para o primeiro processo necessita de betoneiras de grande capacidade, que são instaladas sob os silos de armazenamento de agregados e aglomerantes, e que são providos de balanças que medem a massa dos materiais necessários ao traço pedido (ilustração 15). Estas centrais misturadoras são dotadas de um sistema mais aprimorado, o que garante uma maior homogeneidade do concreto. O transporte deste concreto pode ser realizado por caminhões basculantes de carroceria metálica ou caminhões betoneira. Destaca-se neste momento que, quando o transporte é realizado por caminhão betoneira em qualquer situação, é aplicada uma pequena velocidade à betoneira, para que o concreto retarde por mais tempo o seu início de pega (SCHWING STETTER, 2008).

No segundo processo de produção de concreto, ele também pode ser dosado na central por meio de seus equipamentos (ilustração 16). Os agregados devem estar armazenados em silos ou no pátio. Se eles estiverem nos silos, estes possuem balanças em suas bases para medir os materiais. Já os do pátio, necessitam de pá carregadeira que carrega os alimentadores metálicos, providos de balança, que após a medida da massa transportam os

materiais por correias transportadoras até os caminhões betoneiras. Os caminhões betoneira, geralmente, são abastecidos abaixo dos silos de aglomerantes, que também possuem balanças em suas bases. Portanto, é no caminhão betoneira que se processa toda a fase de mistura dos constituintes do concreto, da dosagem até a entrega final do mesmo nas obras (PORTAL DO CONCRETO, 2008).



Ilustração 16 – Central dosadora com mistura caminhão betoneira

Para a obtenção de um concreto homogêneo, o equipamento de mistura deve estar em boas condições, sendo elas: balão limpo, facas inteiras, comando e sistema hidráulico do balão em ordem.

Os cuidados com a mistura do concreto devem ser especiais, a fim de ponderar a possível perda de trabalhabilidade entre o início e o fim de pega, principalmente durante o transporte, que às vezes é realizado por grandes distâncias. Outros cuidados que se deve ter

nas centrais produtoras de concreto, e que estão relacionadas direta ou indiretamente com o mesmo são (GUIMARÃES, 2006):

- O amassamento do concreto deve ser realizado até que o mesmo apresente cor e consistência uniformes;
- As betoneiras não devem ser carregadas além de sua capacidade; quando sobrecarregadas, estas apresentam tensões e deformações excessivas do equipamento, bem como uma mistura do concreto não uniforme;
- As velocidades de operação das betoneiras devem seguir as recomendações dos fabricantes e serem aferidas com frequência;
- A performance da betoneira é reduzida quando as suas pás e paredes estão com incrustações de concreto, sendo de extrema importância a limpeza das mesmas ao término de cada período de massagens;
- Conseqüentemente, a manutenção dos equipamentos deve ser periódica, uma vez que os desgastes propiciam redução da eficiência;
- O transporte deve ser realizado de forma a evitar a segregação e/ou a perda de argamassa de cimento.

2.3.4 Transporte do concreto

O tempo despendido para o transporte é contado a partir do início do carregamento até a chegada à obra e não deve exceder 1 hora e 30 minutos, sendo que o tempo total até a descarga de todo o volume não deve exceder 2 horas e 30 minutos. Esses prazos podem ser alterados em função da temperatura, umidade relativa do ar, propriedades do cimento, do uso de aditivos retardadores, das peculiaridades da obra e de refrigeração, entre outros, segundo NBR 7212. A temperatura ambiente limite recomendada de concretagem deve estar compreendida no intervalo de 10°C e 32°C. Caso seja necessário concretagem fora desse intervalo, devem ser adotados cuidados especiais (GUIMARÃES, 2006).

2.3.5 Recebimento do concreto na obra

Para assegurar a qualidade das estruturas de concreto, como durabilidade, acabamento, segurança, resistência a intemperismos, é fundamental que se faça o recebimento correto do material que chega em diversas etapas nos caminhões betoneira. Esses procedimentos são fartamente previstos em normas técnicas, manuais nacionais e internacionais (TÉCHNE, 2009).

Ao receber a nota fiscal do concreto, são verificadas as seguintes informações (TÉCHNE, 2009):

- Nome e endereço da obra onde está sendo entregue o concreto;
- Número do lacre do caminhão betoneira;
- Horário de carregamento;
- Tipo de lançamento (bombeado ou convencional);
- Diâmetro máximo do agregado utilizado na mistura;
- Abatimento especificado (medidas em milímetro) e f_{ck} solicitado (MPa);
- Cimento utilizado, consumo, marca, tipo;
- Aditivo utilizado;
- Traço de concreto.

Após esta conferência, deve-se realizar o ensaio de abatimento do tronco de cone - *slump test*, conforme a NBR NM 67. Caso o abatimento não esteja de acordo com o especificado, o caminhão poderá ser rejeitado pela contratante. Se o abatimento obtido no ensaio estiver de acordo com o especificado na nota fiscal, o caminhão é liberado para descarregar. Com o caminhão liberado pode-se iniciar o procedimento de amostragem para moldagem dos corpos de prova para ensaio de compressão.

2.3.6 Lançamento do concreto

O lançamento, na maioria dos casos, é feito com o auxílio de bombas de concreto, por apresentarem uma série de vantagens. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados para que o processo de bombeamento ocorra sem maiores transtornos e o concreto lançado apresente as características adequadas: o concreto não deve ser segregável; o bombeamento deve ser contínuo para evitar que a mistura presente no interior da tubulação dificulte a retomada da operação depois de determinado período; devem ser evitados trechos verticais, com muitas curvas, pois podem reduzir consideravelmente a distância de transporte; e, a tubulação deve ser limpa de forma adequada ao final da concretagem (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Ao término de toda a operação de descarga, as atividades de concretagem com responsabilidade da central, para um determinado caminhão, estão encerradas.

2.4 CONTROLE DE QUALIDADE

O concreto é um produto manufaturado e, como tal, ensaios e avaliações específicos de controle são necessários para assegurar um produto de qualidade. Quem utiliza o concreto dosado em central poderá verificar se o concreto entregue está de acordo com as especificações. Das propriedades do concreto que são medidas em ensaios básicos de controle da qualidade, a resistência à compressão será a variável adotada nesta pesquisa para o controle e avaliação da qualidade dos concretos produzidos tanto na central dosadora, quanto na central misturadora.

São diversos os fatores que podem prejudicar a resistência à compressão, segundo a Téchne (2009):

a) Nas centrais:

- Equipamentos de dosagem descalibrados;
- Agregados de má qualidade;
- Cimento de má qualidade;
- Dosagem inadequada;

- Desconhecimento do comportamento dos materiais;
- Excesso ou escassez de aditivos;
- Entrega do concreto em obra errada.

b) No transporte do concreto:

- Caminhões com betoneiras inadequadas (pás internas do tanque misturador pequenas demais);
- Demora no transporte entre a central e a obra;
- Demora para descarregar o material.

c) No canteiro:

- Coleta inadequada do concreto para moldagem do corpo de prova (fora do terço médio da betoneira);
- Procedimentos inadequados de moldagem dos corpos de prova;
- Falhas na identificação e rastreabilidade dos corpos de prova;
- Exposição dos corpos de prova às intempéries;
- Exposição dos corpos de prova a choques e vibrações.

d) No transporte dos corpos de prova:

- Falta de cuidados no manuseio;
- Armazenamento inadequado dos corpos de prova no veículo.

e) No laboratório:

- Equipamentos descalibrados;
- Falta de capacitação técnica dos laboratoristas;
- Confusão na identificação dos corpos de prova.

O número de amostras que será tomado para medição dessa propriedade, assim como a frequência de amostragem, deve ser definido caso a caso, dependendo da importância da obra e da disponibilidade de tempo, de pessoal para a execução dos ensaios e das normas.

Os resultados obtidos a partir dessas amostras podem ser usados para melhorar a qualidade geral da produção e para otimizar a composição das misturas. Consideráveis

informações podem ser obtidas por meio de um programa bem planejado de ensaios, se os resultados forem corretamente interpretados, usando-se formulários de controle da qualidade e a análise estatística correspondente (AÏTCIN, 2000).

Sabe-se que a utilização de concretos dosados em centrais imprime uma maior velocidade de construção e conseqüentemente, as tomadas de decisões também acompanham este mesmo ritmo, não sendo deixadas para os 28 dias como de praxe. Os técnicos envolvidos na concepção de todo o projeto necessitam desenvolver ou aprovar um programa de garantia da qualidade, que envolva a escolha de técnicas de ensaios e análise estatística nos procedimentos de controle. O objetivo principal de um programa desses é garantir a qualidade de um concreto, desde a sua concepção inicial, preservando suas propriedades, estabilidade e durabilidade ao longo de sua vida útil (GUIMARÃES, 2006).

O uso do controle estatístico para a aceitação do concreto relaciona-se com a variabilidade do processo de produção e ensaio do concreto, sendo uma ferramenta que mede o quanto um construtor ou produtor controla o seu processo de produção. Helene (1980) comenta que todo produtor corre o risco de ter sua produção, ou uma certa quantidade de concreto rejeitado, mesmo que esteja de acordo com o especificado (traço, por exemplo). Porém este risco de rejeição será tanto menor, quanto mais acima da resistência especificada (f_{ck}) esteja a média e o valor característico de sua produção.

As medidas de variabilidade ou dispersão visam descrever os resultados, informando o grau de dispersão ou afastamento dos valores observados em torno da média. Informando se um conjunto de dados é homogêneo (pouca variabilidade), ou heterogêneo (muita variabilidade). O desvio padrão indica o afastamento dos valores em relação a média da amostra e é representado na mesma unidade da amostra. Já o coeficiente de variação mostra o grau de concentração dos dados em torno da média e pode comparar a variabilidade de dois conjuntos de dados com unidades de medidas diferentes, logo é adimensional (DIAS, 2003).

2.4.1 Critérios segundo a norma NBR 7212

2.4.1.1 Amostragem

De acordo com a NBR 7212, devem ser retirados exemplares do concreto, aleatoriamente, constituídos de no mínimo dois corpos de prova para cada idade de rompimento, adotando-se o resultado maior dos valores de resistência obtidos (f_i). Os exemplares devem ser retirados após a descarga de 0,15 e antes que tenha sido descarregado 0,85 do volume transportado e após o ensaio de abatimento (slump). Além disso, a amostra deve ser constituída de, no mínimo, 32 exemplares.

2.4.1.2 Análise estatística

O controle de qualidade da resistência do concreto se restringe à resistência potencial do concreto, medida na saída do caminhão betoneira e para um sistema de controle de qualidade ser realmente efetivo e econômico, o mesmo deve estar baseado em métodos estatísticos. Sabe-se que o controle de uma produção de concreto se baseia na resistência à compressão. Entretanto, apenas a média dos resultados de resistência à compressão não seria suficiente para definir e qualificar uma produção. Deve-se considerar a dispersão dos resultados medida através do desvio-padrão ou do coeficiente de variação do processo de produção e ensaio, conforme especificado na NBR 7212. Os métodos estatísticos se baseiam nas leis da probabilidade cujo pré-requisito é que os resultados dos ensaios de resistência à compressão sigam uma curva de distribuição normal, o que se verifica em concretos convencionais.

A média e o desvio-padrão são calculados com os resultados, f_i , obtidos com um concreto com uma resistência de dosagem escolhida arbitrariamente, f_r , que passará a se denominar concreto de referência; recomenda-se que essa resistência seja a de um concreto freqüentemente solicitado, devendo ser igual ou superior a 22 MPa, conforme NBR 7212.

Desvio padrão:

$$S_d = \frac{\sqrt{(f_i - f)^2}}{(n-1)}$$

Sendo:

$$f = \sum f_i / n$$

Onde:

n = número de exemplares;

S_d = desvio padrão da central para as condições consideradas;

f_i = resultados obtidos de um concreto com resistência de dosagem escolhida arbitrariamente;

f = média dos resultados obtidos;

Para o cálculo do coeficiente de variação dentro do ensaio obtém-se uma estimativa do desvio-padrão dentro do ensaio a partir da média das amplitudes de valores de resistências dos corpos de prova de cada exemplar, divididos pelo coeficiente d₂, conforme a tabela 1 da NBR 7212.

Tabela 1 – Coeficiente d₂, (NBR 7212)

| Números de corpo de prova do exemplar | d₂ |
|--|----------------------|
| 2 | 1,128 |
| 3 | 1,693 |
| 4 | 2,059 |
| 5 | 2,326 |

O coeficiente de variação dentro do ensaio é obtido pelo quociente entre o desvio-padrão, estimado conforme o parágrafo anterior, e a resistência média, expressa em porcentagem, segundo a NBR 7212.

O objetivo dessa interpretação é avaliar o concreto segundo o controle de preparo e cuidados no ensaio. A NBR 7212 estabelece um procedimento a partir dos resultados de resistência obtidos:

- A avaliação do controle de preparo é feita com base no desvio-padrão, conforme a tabela 2;

- A avaliação dos ensaios é feita com base no coeficiente de variação dentro do ensaio, conforme a tabela 3.

Tabela 2 – Classificação do controle da qualidade do concreto em termos de desvio-padrão (NBR 7212).

| Classificação | Desvio padrão (Mpa) | |
|---------------|---------------------|-------------|
| | Central | Laboratório |
| Nível 1 | < 3,0 | < 1,5 |
| Nível 2 | 3,0 a 4,0 | 1,5 a 2,0 |
| Nível 3 | 4,0 a 5,0 | 2,0 a 2,5 |
| Nível 4 | > 5,0 | > 2,5 |

Tabela 3 – Classificação do controle da qualidade do concreto em termos de coeficiente de variação (NBR 7212).

| Classificação | Coeficiente de variação | |
|---------------|-------------------------|-------------|
| | Central | Laboratório |
| Nível 1 | < 3,0 | < 2,0 |
| Nível 2 | 3,0 a 5,0 | 2,0 a 4,0 |
| Nível 3 | 5,0 a 6,0 | 4,0 a 5,0 |
| Nível 4 | > 6,0 | > 5,0 |

De maneira qualitativa cada nível poderia ser classificado da seguinte forma, nível 1: excelente; nível 2: muito bom; nível 3: razoável e nível 4: ruim, tanto para o desvio padrão, quanto para o coeficiente de variação.

Apesar de não ser previsto em norma, o procedimento ideal para avaliação da qualidade dos concretos produzidos em uma central, por meio do desvio-padrão, consiste na

análise por f_{ck} . Desta forma, sabe-se exatamente quais níveis de resistência à compressão necessitam de um controle da qualidade maior e quais já atingiram um patamar satisfatório na variabilidade da produção. Como se sabe, o desvio-padrão é maior quanto maior a resistência à compressão e, por este motivo, concretos com resistências mais altas exigem medidas de controle mais rigorosas.

Alguns autores defendem o coeficiente de variação como um meio mais útil para comparações práticas da dispersão da resistência do concreto. Segundo eles, o coeficiente de variação é um parâmetro mais adequado, pois é menos influenciado pela magnitude das resistências obtidas e é mais útil para comparar os graus de controle para uma larga faixa de níveis de resistência (HELENE, 2007).

2.4.2 Critérios segundo a norma NBR 12655

Segundo a norma NBR 12655, o controle estatístico do concreto poderá ser por amostragem parcial, total ou casos excepcionais, como mostra a ilustração 17. Na amostragem parcial são retirados exemplares de algumas betonadas de concreto, enquanto que na amostragem total, são realizados ensaios de exemplares de cada amassada de concreto. Para os casos excepcionais, pode-se dividir a estrutura em lotes correspondentes a, no máximo, 10 m³ e amostrá-los com número de exemplares entre 2 e 5.

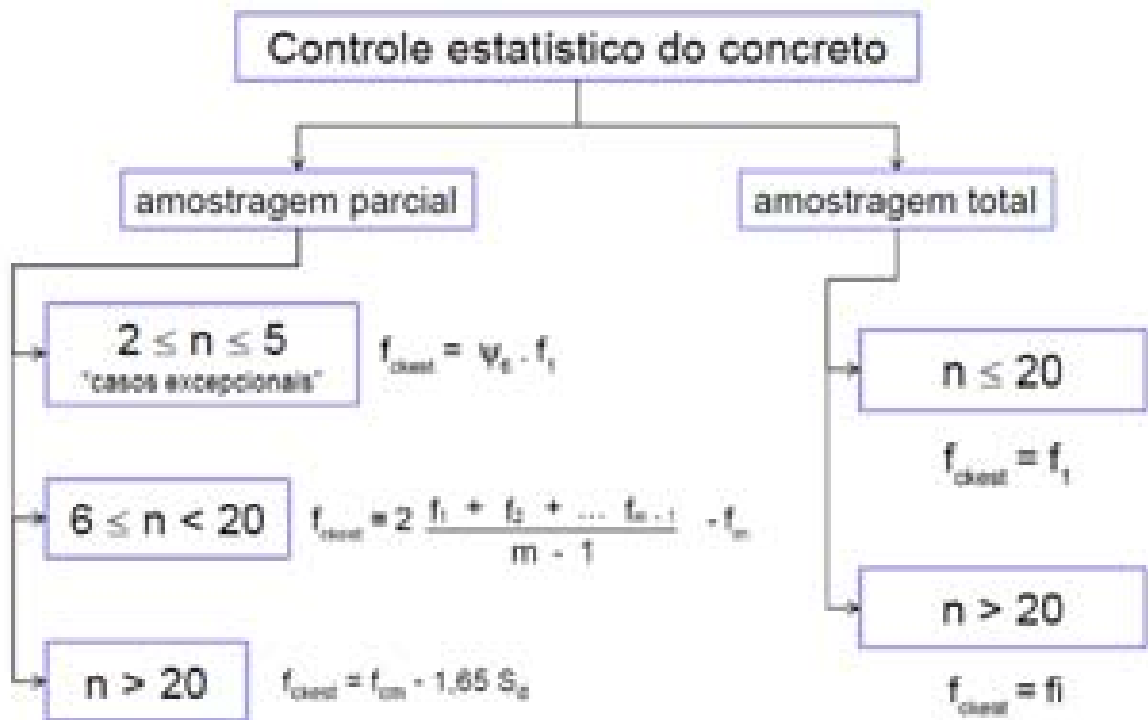


Ilustração 17 – Controle estatístico do concreto segundo a NBR 12655

Onde:

$f_{ck,est}$ = resistência característica estimada, em megapascals;

n = número de exemplares;

$m = n/2$ despreza se o valor mais alto de n , se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_m = valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente;

f_{cm} = resistência média dos exemplares do lote, em megapascals;

S_d = desvio padrão do lote para $n-1$ resultados, em megapascals;

$i = 0,05n$. Quando o valor de i for fracionário, adota-se o número inteiro imediatamente superior.

Ψ_6 = constante obtida em tabela na norma NBR 12655, em função do número de exemplares.

Os lotes de concreto devem ser aceitos, quando o valor estimado da resistência característica ($f_{ck,est}$) satisfazer a relação:

$$f_{ck,est} \geq f_{ck}$$

Além disso, de acordo com a NBR 12655, os valores para formação de lotes de concreto devem seguir os seguintes limites (tabela 4):

Tabela 4 – Valores para formação de lotes de concreto (NBR 12655)

| Limites superiores | Solicitação principal dos elementos estruturais | |
|---------------------------|--|-----------------------|
| | Compressão ou compressão e flexão | Flexão simples |
| Volume de concreto | 50 m ³ | 100 m ³ |
| Nº de andares | 1 | 1 |
| Tempo de concretagem | 3 dias de concretagem | |

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para cumprir os objetivos propostos do trabalho em realizar uma análise comparativa entre o concreto produzido em centrais misturadoras e aquele produzido em centrais dosadoras, que realizam a mistura em caminhão betoneira e quantificar os grupos de concreto existentes dentro de um caminhão betoneira, o programa experimental foi dividido em duas etapas macro (ilustração 18).

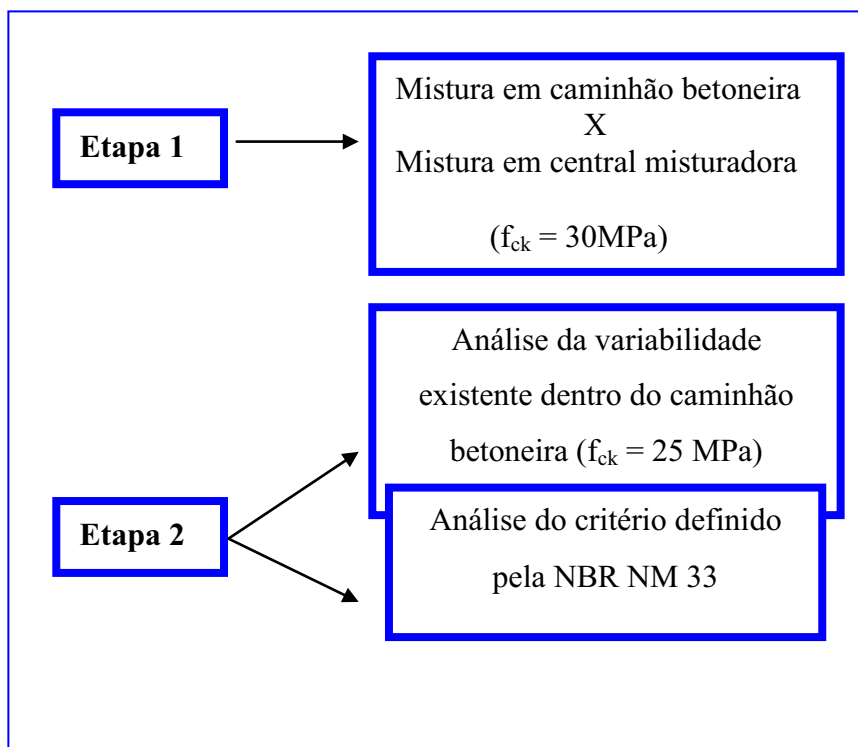


Ilustração 18 – Etapas do Programa Experimental

Na etapa 1, com o intuito de avaliar a influência do tipo de mistura na qualidade do concreto, foram comparados os resultados obtidos na central dosadora e central misturadora. A produção em ambas centrais ocorreu com os mesmos materiais e para a mesma resistência característica à compressão. O critério adotado para a análise comparativa foi a resistência à compressão, cujo f_{ck} era de 30 MPa.

Para a análise da variabilidade dentro do caminhão betoneira, objetivo da etapa 2, foram retirados corpos de prova dentro de cada caminhão betoneira, do concreto produzido na central dosadora da etapa 1. A coleta ocorreu em pontos distintos e a resistência à compressão

foi o parâmetro utilizado para mensurar esta variabilidade. Dentre os corpos de prova retirados ao longo do descarregamento, aqueles extraídos do terço médio do caminhão foram utilizados para a análise do critério da NBR NM 33, verificando se estes apresentaram o melhor resultado.

4. ETAPA 1: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CONCRETOS PRODUZIDOS EM CENTRAL DOSADORA E CENTRAL MISTURADORA

4.1 AMOSTRA

Esta etapa foi promovida em obras civis de infra estrutura de grande porte. A empresa construtora, contava com sua própria central dosadora e misturadora para produção do concreto utilizado na obra (ilustração 19), por isso, a escolha desta como amostra da pesquisa, devido a presença dos dois tipos de centrais. Foram produzidos 300.000 m³ de concreto com os mesmos materiais para ambas centrais, ao longo de três anos, com um f_{ck} de 30 MPa. Aproximadamente, foram utilizados 150.000 m³ de concreto para cada central.



Ilustração 19 – Centrais misturadora e dosadora

Para o concreto produzido em central dosadora e misturado em caminhão betoneira, foram coletados 520 exemplares e para a central misturadora 200 exemplares, com resistência característica de 30 MPa. A amostragem da central dosadora foi maior tendo em vista que a mesma estava apresentando uma maior variabilidade nos resultados. Além disso, a retirada da amostra ocorreu após a produção de metade do volume de concreto, com o intuito de eliminar as variáveis existentes no início e fim do processo.

Esta amostra foi do período de produção de 1 semana, sendo utilizada a amostragem parcial. O tipo de esforço em que o concreto estava submetido era a flexão simples e os lotes de cada central foram definidos de acordo com NBR 12655, conforme demonstrado abaixo:

Tabela 5 – Definição dos lotes conforme NBR 12655

| Tipo de Central | Nº de lotes | Volume / Lote (m³) | n | Nº de exemplares |
|------------------------|--------------------|--------------------------------------|----------|-------------------------|
| Dosadora | 10 | 100 m ³ | 52 | 520 |
| Misturadora | 10 | 100 m ³ | 20 | 200 |

4.2 METODOLOGIA

Nesta etapa foi moldado um exemplar para cada betonada analisada, sendo, portanto dois corpos de prova por exemplar, tanto para o concreto produzido em central dosadora e misturado em caminhão betoneira, quanto para aquele misturado em central misturadora. No total foram 1440 corpos de prova, rompidos aos 28 dias para obtenção da resistência à compressão.

As moldagens dos corpos de prova obedeceram os critérios estabelecidos pela NBR 5738. Além disso, para ambas centrais, foram utilizados os mesmo materiais para a produção do concreto, variando apenas o processo de mistura.

O rompimento dos corpos de prova ocorreu ao final dos 28 dias, de acordo com os requisitos da NBR 5739.

4.2.1 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram os mesmos para os dois tipos de centrais, sendo eles:

- Cimento;
- Areia;
- Brita;
- Aditivo Mastermix 390 RB.

Os agregados graúdos e miúdos são provenientes da mesma pedreira. A caracterização do agregado miúdo está apresentada nas tabelas 6 e 7, enquanto para o agregado graúdo a caracterização está apresentada nas tabelas 8 e 9.

Tabela 6 – Resultados do peneiramento do agregado miúdo

| Descrição: | | AREIA ARTIFICIAL | | | |
|-------------------|-------|-------------------------|--------------------|-------------|------------|
| Tipo de Material: | | GRANITO | | | |
| Peneira | | Peso | Porcentagem Retida | | % Passante |
| Nº | mm | Retido (g) | % Individual | % Acumulada | |
| 2" | 50 | | | | |
| 1.1/2" | 38 | | | | |
| 1.1/4" | 32 | | | | |
| 1" | 25 | | | | |
| 3/4" | 19 | | | | |
| 1/2" | 12,5 | | | | |
| 3/8" | 9,5 | 0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 1/4" | 6,3 | 0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| Nº4 | 4,8 | 12 | 0,5 | 0,5 | 99,5 |
| Nº8 | 2,4 | 514 | 22,3 | 22,8 | 77,2 |
| Nº16 | 1,2 | 410 | 17,8 | 40,5 | 59,5 |
| Nº30 | 0,6 | 381 | 16,5 | 57,0 | 43,0 |
| Nº50 | 0,3 | 316 | 13,7 | 70,7 | 29,3 |
| Nº100 | 0,15 | 312 | 13,5 | 84,2 | 15,8 |
| Nº200 | 0,075 | 159 | 6,9 | 91,1 | 8,9 |
| Fundo | | 205 | 8,9 | 100,0 | 0,0 |
| Total | | 2309,0 | 100 | | |

Tabela 7 – Caracterização do agregado miúdo

| | |
|---|-----------|
| Diâmetro Máximo (mm) | 4,80 |
| Módulo de Finura | 2,76 |
| Massa Específica (kg/dm³) | 2,630 |
| Massa Unitária (kg/dm³) | 1,460 |
| Absorção (%) | 0,90 |
| Teor Pulverulento (%) | 13,60 |
| Matéria Orgânica (ppm) | < 300 ppm |

Tabela 8 – Resultados do peneiramento do agregado graúdo

| Descrição: | | BRITA 19 mm | | | |
|--------------------------|-------|--------------------|--------------------|-------------|------------|
| Tipo de Material: | | GRANITO | | | |
| Peneira | | Peso | Porcentagem Retida | | % Passante |
| Nº | mm | Retido (g) | % Individual | % Acumulada | |
| 4" | 100 | | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 3" | 76 | | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 2 1/2" | 64 | | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 2" | 50,0 | | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 1.1/2" | 38 | | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 1" | 25 | 0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 3/4" | 19 | 22 | 0,6 | 0,6 | 99,4 |
| 1/2" | 12,5 | 0 | 0,0 | 0,6 | 99,4 |
| 3/8" | 9,5 | 3572 | 90,8 | 91,4 | 8,6 |
| 1/4 " | 6,3 | | 0,0 | 91,4 | 8,6 |
| Nº4 | 4,8 | 244 | 6,2 | 97,6 | 2,4 |
| Nº8 | 2,4 | 35 | 0,9 | 98,5 | 1,5 |
| Nº16 | 1,2 | 13 | 0,3 | 98,8 | 1,2 |
| Nº30 | 0,6 | 10 | 0,3 | 99,1 | 0,9 |
| Nº50 | 0,3 | 9 | 0,2 | 99,3 | 0,7 |
| Nº100 | 0,15 | 12 | 0,3 | 99,6 | 0,4 |
| Nº200 | 0,075 | 8 | 0,2 | 99,8 | 0,2 |
| Fundo | | 8,0 | 0,2 | 100,0 | 0,0 |
| total | | 3933,0 | 100,0 | | |

Tabela 9 – Caracterização do agregado graúdo

| | |
|---|----------|
| Diâmetro Máximo (mm) | 12,50 |
| Módulo de Finura | 6,765 |
| Massa Específica (kg/dm³) | 2,600 |
| Massa Unitária (kg/dm³) | 1,330 |
| Absorção (%) | 0,35 |
| Teor Pulverulento (%) | 0,55 |
| Matéria Orgânica (ppm) | < 300ppm |

Complementando as tabelas de caracterização, é possível visualizar nas curvas granulométricas a porcentagem de material retido para os dois tipos de agregado. A ilustração 20 mostra a curva do agregado miúdo, enquanto a ilustração 21 mostra a porcentagem de material retido para o agregado graúdo.

- Curva Granulométrica -

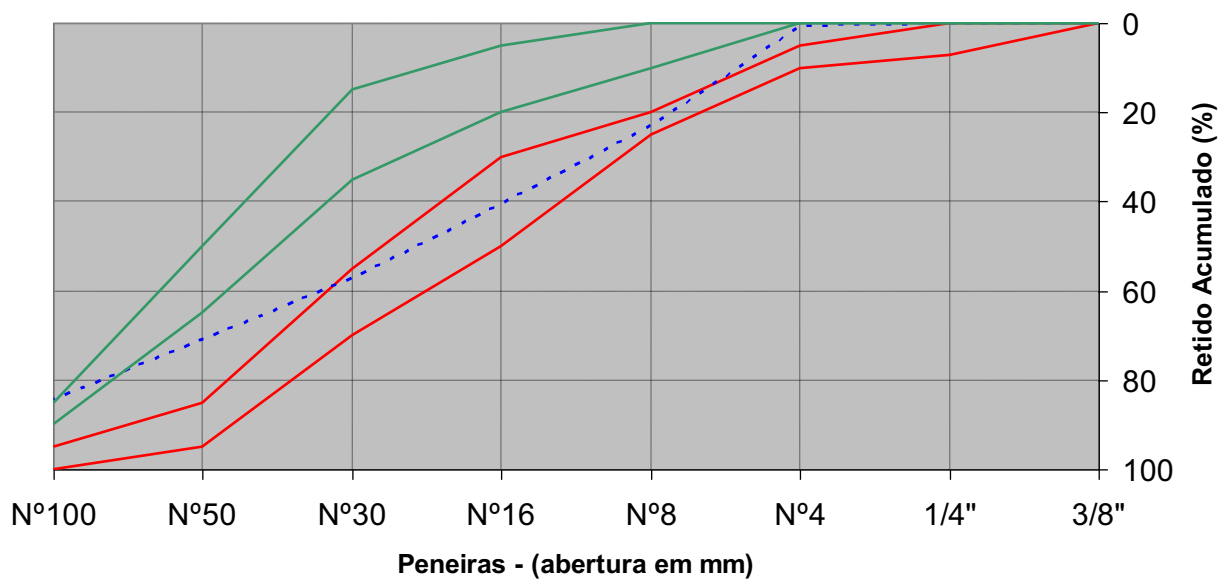


Ilustração 20 – Curva granulométrica para o agregado miúdo

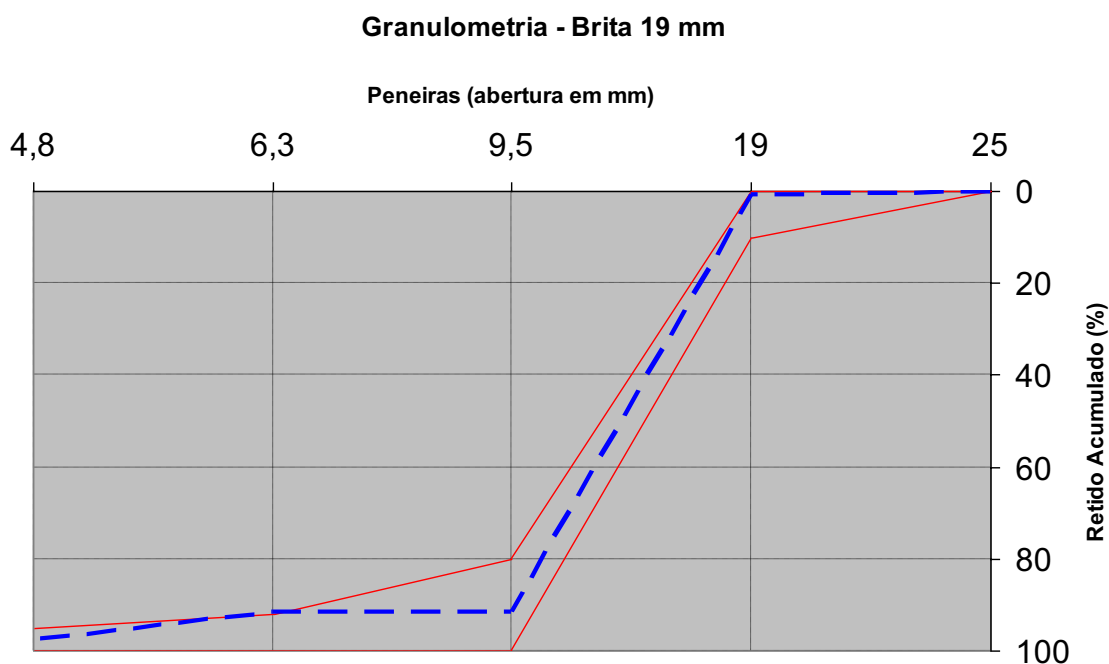


Ilustração 21 – Curva granulométrica para o agregado graúdo

Ainda dentro da caracterização dos materiais utilizados para a produção do concreto, tem-se a tabela com os dados técnicos do aditivo (tabela 10).

Tabela 10 – Dados técnicos do aditivo mastermix 390 RB

| Função | Aditivo plastificante polifuncional retardador de pega para concreto. | | |
|--|---|-------------------------|-------------------|
| Base química | Lignosulfonato | | |
| Aspecto | Líquido | | |
| Cor | Castanho escuro | | |
| Ação secundária: Redutor de água Solubilidade em água: Total Não contém cloreto de cálcio, intencionalmente adicionado, ou ingredientes a base de cloreto. | | | |
| Teste | Método BASF | Especificação | Unidade |
| Aparência | TM 761B | Líquido castanho escuro | Visual |
| PH | TM 112B | 7 – 9 | - |
| Densidade | TM 578B | 1,18 – 1,22 | g/cm ³ |
| Sólidos | TM 613B | 39 – 43 | % |

4.2.2 Estudo de dosagem

A partir do método de dosagem IPT/EPUSP, foram construídas curvas de dosagem, tendo como referência os traços utilizados na central em estudo. As ilustrações 22, 23 e 24 demonstram o comportamento gráfico desta dosagem.

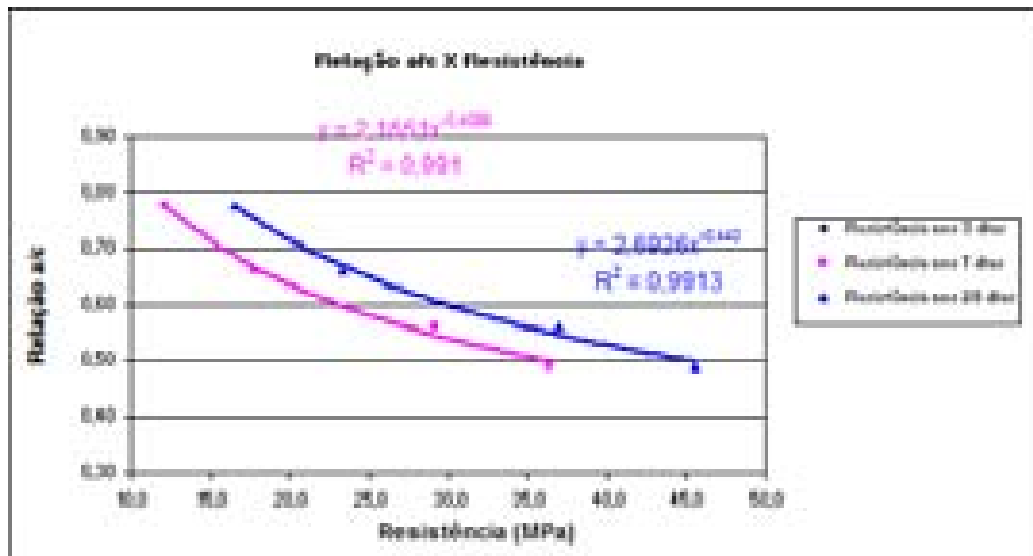


Ilustração 22 – Relação a/c X Resistência

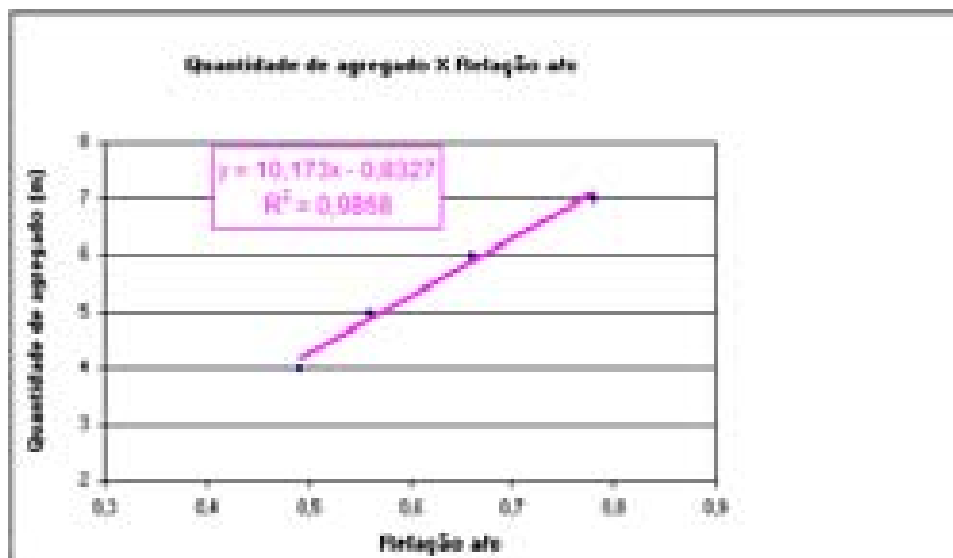


Ilustração 23 – Relação a/c X Quantidade de agregado

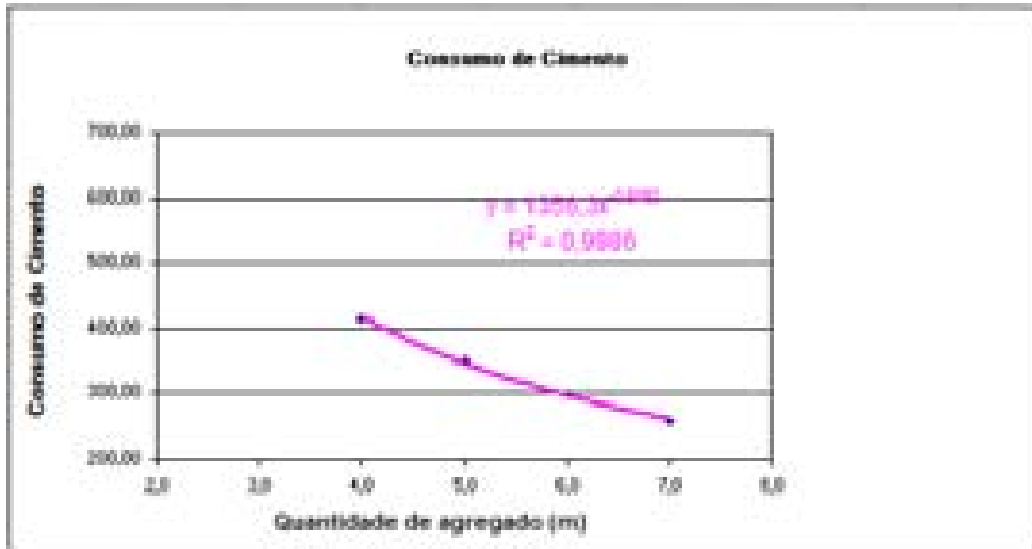


Ilustração 24 – Quantidade de agregado X Consumo de cimento

4.3 RESULTADOS

Os resultados desta etapa, referentes a resistência à compressão dos corpos de prova moldados na central dosadora e misturadora estão apresentados no Anexo A deste trabalho. Nas ilustrações 25 e 26, está representado o comportamento da resistência em cada central.

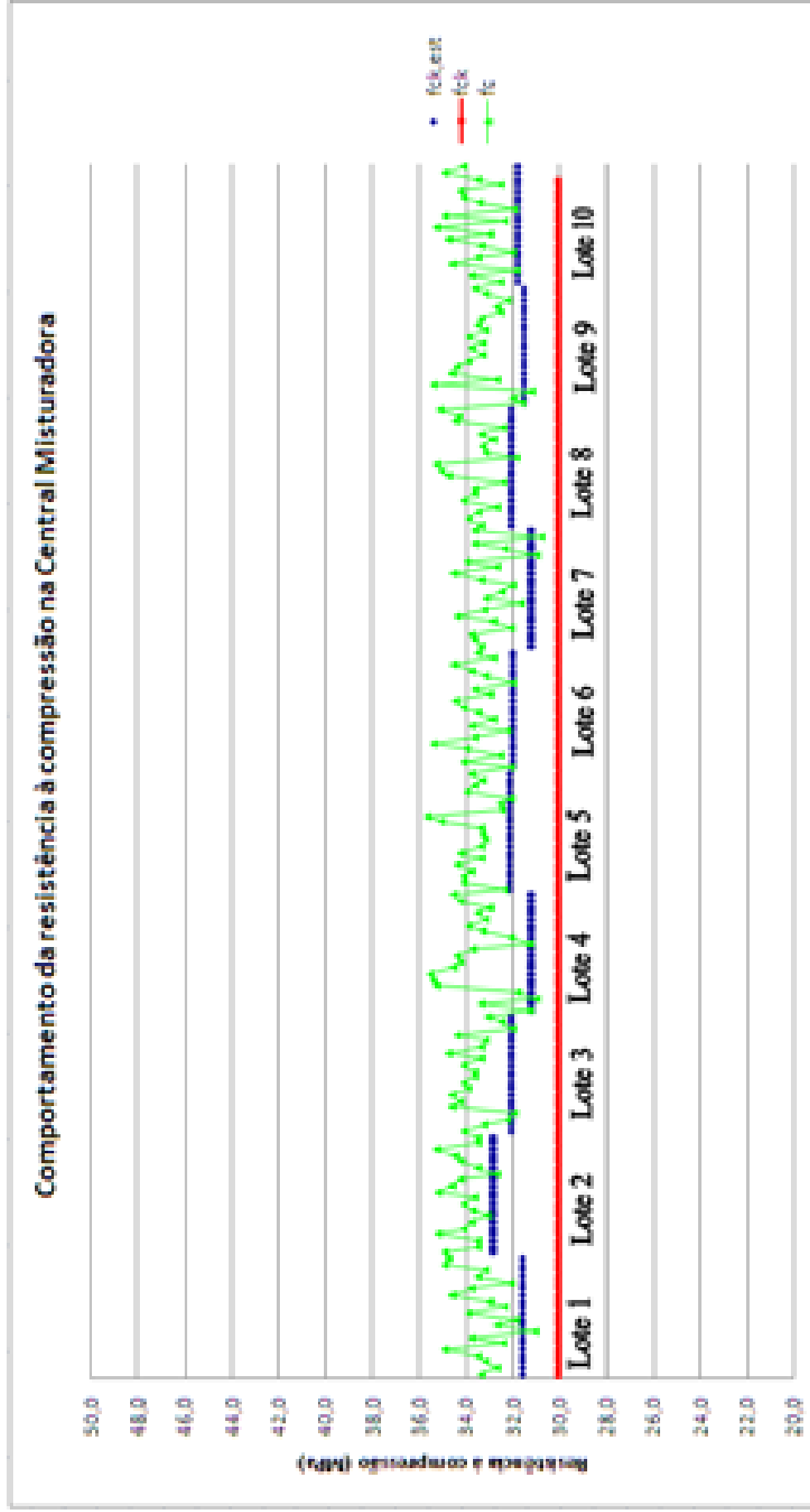


Ilustração 25 – Gráfico: Comportamento da resistência à compressão na central misturadora

Comportamento da resistência à compressão na Central Dosadora

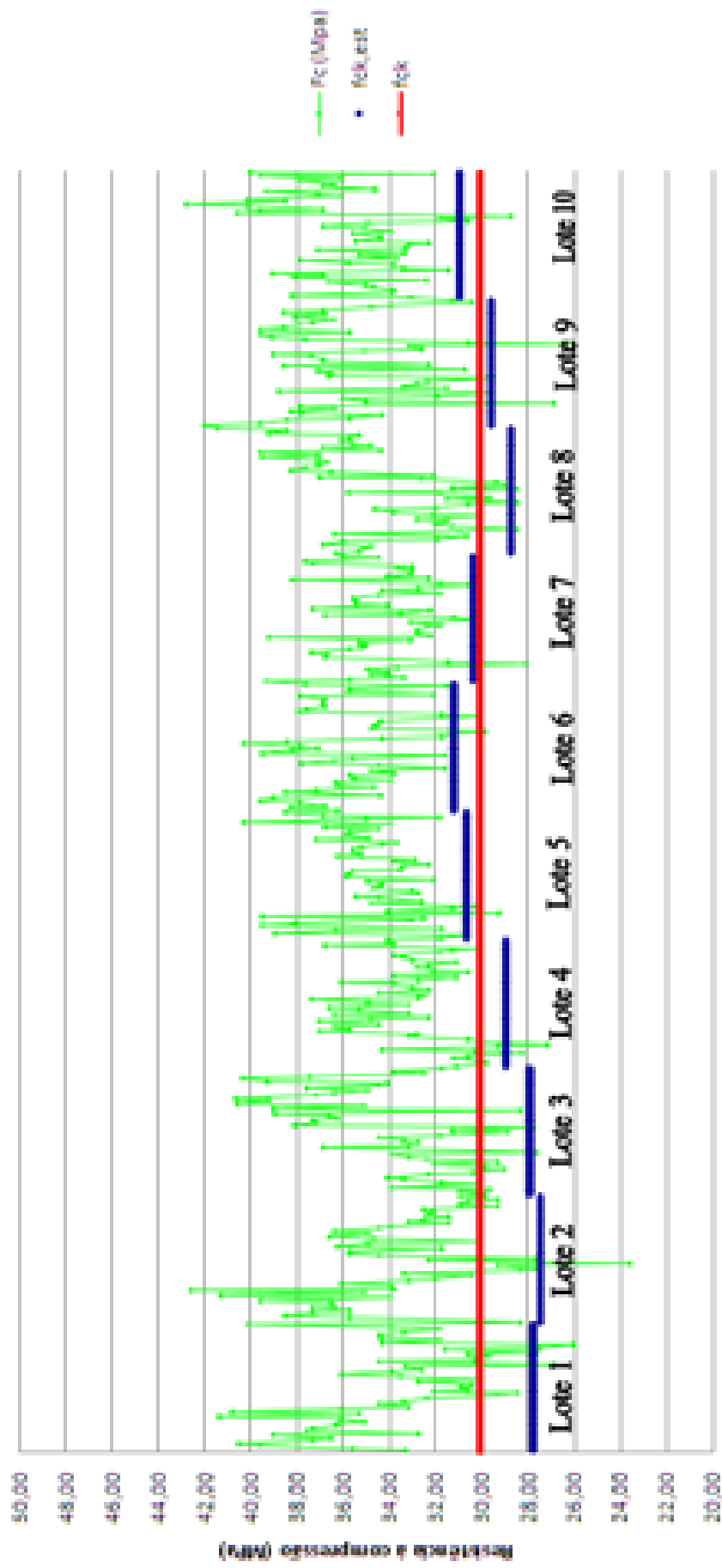


Ilustração 26 – Gráfico: Comportamento da resistência à compressão na central dosadora

Tendo como base os resultados dos exemplares da central misturadora (ilustração 25), pode-se dizer que a menor resistência foi de 30,78 MPa, a maior 35,65 MPa, a amplitude 4,87 MPa e a resistência média 33,46 MPa.

Em relação a central dosadora (ilustração 26), a mesma apresentou uma resistência mínima de 23,60 MPa, uma resistência máxima de 42,80 MPa, amplitude de 19,20 MPa e uma resistência média de 34,37 MPa.

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.4.4 Cálculo do $f_{ck,est}$ segundo os critérios da NBR 12655

A partir dos resultados apresentados, foi calculado o $f_{ck,est}$ (tabelas 11 e 12) para as duas centrais, de acordo com o critério da NBR 12655 para um controle por amostragem parcial, pois foram retirados exemplares de algumas betonadas.

Cálculo para lotes $n > 20$ (amostragem parcial)

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65.S_d$$

$f_{ck,est}$ – resistência característica estimada (MPa);

f_{cm} – resistência média do lote (MPa);

S_d – desvio padrão do lote.

Além disso, será calculado também o desvio padrão (S_d) e o coeficiente de variação (CV) para as duas centrais (tabelas 11 e 12), com o intuito de avaliar o nível de controle empregado em cada produção.

Tabela 11 – Cálculo do $f_{ck,est}$ conforme a NBR 12655 para a central misturadora

| Lote | f_{cm} (Mpa) | S_d | C.V. | $f_{ck,est}$ (Mpa) |
|------|----------------|-------|------|--------------------|
| 1 | 33,30 | 1,00 | 3,00 | 31,50 |
| 2 | 34,00 | 0,70 | 2,06 | 32,80 |
| 3 | 33,50 | 0,90 | 2,69 | 32,10 |
| 4 | 33,50 | 1,40 | 4,18 | 31,20 |
| 5 | 33,60 | 0,90 | 2,68 | 32,10 |
| 6 | 33,40 | 0,90 | 2,69 | 32,00 |
| 7 | 32,90 | 1,00 | 3,04 | 31,20 |
| 8 | 33,60 | 1,00 | 2,98 | 32,00 |
| 9 | 33,20 | 1,00 | 3,01 | 31,50 |
| 10 | 33,50 | 1,10 | 3,28 | 31,70 |

Tabela 12 – Cálculo do $f_{ck,est}$ conforme a NBR 12655 para a central dosadora

| Lote | f_{cm} (Mpa) | S_d | C.V. | $f_{ck,est}$ (Mpa) |
|------|----------------|-------|-------|--------------------|
| 1 | 33,70 | 3,60 | 10,68 | 27,70 |
| 2 | 33,40 | 3,60 | 10,78 | 27,50 |
| 3 | 33,90 | 3,60 | 10,62 | 27,90 |
| 4 | 32,90 | 2,40 | 7,29 | 29,00 |
| 5 | 34,60 | 2,40 | 6,94 | 30,70 |
| 6 | 35,60 | 2,60 | 7,30 | 31,20 |
| 7 | 34,20 | 2,30 | 6,73 | 30,40 |
| 8 | 34,20 | 3,30 | 9,65 | 28,70 |
| 9 | 35,40 | 3,50 | 9,89 | 29,60 |
| 10 | 35,80 | 2,90 | 8,10 | 31,00 |

Observando os dados da tabela 11, referentes a central misturadora, é possível perceber o comportamento do $f_{ck,est}$ dentro de cada lote, ressaltando o maior desvio padrão ($S_d= 1,4$) e o menor $f_{ck,est}$ (31,20 MPa) para o lote 4. Enquanto na tabela 12, para a central dosadora, o lote que apresentou o pior resultado, foi o lote 2, com um $f_{ck,est}$ de 27,50 MPa e um desvio padrão (S_d) de 3,60.

Analisando o comportamento da resistência representado nas ilustrações 25 e 26, é possível perceber que na central misturadora todos os resultados (f_c) ficaram acima da linha do f_{ck} , que era de 30 MPa. Em contrapartida, na central dosadora, a linha da resistência (f_c)

cruza com a linha do f_{ck} diversas vezes, indicando os exemplares que não atingiram a resistência característica de projeto. Em relação ao $f_{ck,est}$, a central misturadora não apresentou em nenhum lote, um valor abaixo do f_{ck} , já a central dosadora, 6 dos 10 lotes apresentaram um $f_{ck,est}$ menor do que o f_{ck} de projeto.

Para a central misturadora, a linha de dispersão, que caracteriza o comportamento da resistência à compressão (ilustração 25), apresentou pequena oscilação, sendo que o intervalo de variação entre os picos máximos e mínimos foi menor do que 5 MPa. Ao contrário da central misturadora, a central dosadora mostrou um gráfico (ilustração 26) com grandes oscilações, onde os picos máximos chegam a resistências muito altas, quando comparadas com o f_{ck} e até mesmo, a resistências mais baixas do que este, nos picos mínimos. O intervalo de variação entre os picos foi da ordem de 19 MPa.

Por fim, avaliando os dados das tabelas 11 e 12, tendo como base o pior resultado, ou seja, o menor $f_{ck,est}$ e o maior desvio padrão, foi observado que a central misturadora apresentou um melhor resultado, com uma maior resistência característica estimada ($f_{ck,est} = 31,20 \text{ MPa} > f_{ck}$) e menor desvio padrão ($S_d = 1,40 \text{ MPa}$), o que significa um concreto mais homogêneo e conseqüentemente de melhor qualidade. Analisando os valores apresentados na central dosadora, a variação entre as resistências foi muito grande, oscilando entre 23,60MPa e 42,80MPa. Percebe-se a significativa falta de homogeneidade na mesma, o que justifica um desvio padrão maior ($S_d = 3,60 \text{ MPa}$) e uma resistência estimada ($f_{ck,est} = 27,50 \text{ MPa} < f_{ck}$) menor do que a central misturadora.

4.4.5 Avaliação do desvio padrão e coeficiente de variação segundo os critérios da NBR 7212

Tendo como base os critérios da NBR 7212, podemos classificar ambos os casos mediante os valores de desvio padrão e coeficiente de variação, para avaliar o “nível” de qualidade da produção nas centrais.

Tabela 13 – Classificação do controle da qualidade do concreto em termos de desvio-padrão e coeficiente de variação (NBR 7212)

| Classificação | Desvio padrão (Mpa) | Coeficiente de variação | Classificação qualitativa |
|---------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Central | Central | |
| Nível 1 | < 3,0 | < 3,0 | Excelente |
| Nível 2 | 3,0 a 4,0 | 3,0 a 5,0 | Muito Bom |
| Nível 3 | 4,0 a 5,0 | 5,0 a 6,0 | Razoável |
| Nível 4 | > 5,0 | > 6,0 | Ruim |

C.M.

C.D.

Avaliando os valores apresentados na tabela 13, para os lotes que apresentaram o pior resultado, observou-se que a central misturadora (C.M.) com um desvio padrão de 1,40MPa, tem sua produção classificada como nível 1 e quando se adota o coeficiente de variação, que para este caso foi de 4,18, a produção da mesma central se enquadraria no nível 2, ou seja, pode-se dizer que houve um excelente controle no preparo e o cuidado na realização dos ensaios foi muito boa. No entanto, quando se avalia a central dosadora (C.D.), a mesma apresentou um desvio padrão de 3,60MPa e um coeficiente de variação de 10,78, ou seja, a produção poderia ser classificada como nível 2 (muito bom) em relação ao desvio padrão e nível 4 (ruim) para o coeficiente de variação.

Logo, é notória a diferença de controle de uma central em relação à outra, pois para a central misturadora, a mesma obteve um bom resultado (tabela 13) quando avaliada pelas duas medidas de dispersão (desvio padrão e o coeficiente de variação), contudo, a central dosadora apresentou para o coeficiente de variação a pior classificação qualitativa, ruim (tabela 13).

4.4.6 Análise de custo do consumo de cimento entre as duas centrais

Mediante a avaliação dos resultados obtidos pela central misturadora, em relação a resistência característica estimada ($f_{ck,est} = 31,20$ MPa) e tendo como base o traço utilizado para a produção do concreto, foi possível calcular o consumo de cimento, que para a produção estudada, foi de 368 Kg/m^3 de concreto (ilustração 24). Portanto, como a central misturadora apresentou um melhor desempenho, onde o $f_{ck,est}$ foi maior do que a resistência característica de projeto ($f_{ck} = 30$ MPa), poderia-se então reduzir o consumo de cimento, já que a resistência ficou aproximadamente 1 MPa acima do f_{ck} . Para isso, o consumo de cimento reduziria para 348 Kg/m^3 de concreto, representando uma redução de 20 Kg/m^3 , sendo 5,5% de economia em cimento. Logo, para produções com grandes volumes de concreto, esta economia é extremamente interessante, devido a ordem de grandeza em redução dos custos financeiros deste insumo. Para o caso específico desta pesquisa, partindo da hipótese que todo o concreto fosse produzido na central misturadora, a redução de custo seria da ordem de:

- Total da produção de concreto: 300.000 m^3
- Índice de redução do consumo de cimento: 20 Kg/m^3
- Custo médio do preço do cimento em Kg: R\$ 0,40
- Total da redução de custo: R\$ 2.400.000,00

Logo, é possível dizer que a redução do custo é significativa para grandes volumes de produção, além dos ganhos em qualidade do concreto produzido nas centrais misturadoras.

5. ETAPA 2: AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DO CONCRETO DENTRO DO CAMINHÃO BETONEIRA

5.1 AMOSTRA

Para esta etapa foi considerado um concreto com f_{ck} 25 MPa, utilizado em estruturas, produzido na central dosadora descrita na etapa 1. O piloto desta pesquisa foi constituído por 8 caminhões betoneira e de cada caminhão, foram moldados 05 corpos de prova (ilustração 27). O volume aproximado de concreto foi de 72 m³, sendo 9 m³ por caminhão. A amostra foi escolhida de forma aleatória, representada por duas concretagens realizadas na obra da etapa 1. Após o rompimento dos corpos de prova aos 28 dias, os resultados foram utilizados para o cálculo da amostra, com o intuito de verificar se o piloto adotado atende estatisticamente a população de caminhões betoneira da obra estudada.



Ilustração 27 – Corpos de prova moldados na obra

5.2 METODOLOGIA

O concreto para moldagem dos corpos de prova foi coletado do caminhão betoneira, de forma que cada corpo de prova representasse um ponto distinto, totalizando 05 trechos (ilustração 28). O volume de concreto em cada caminhão era de 9m^3 , por isso, as amostras foram retiradas obedecendo ao seguinte critério:

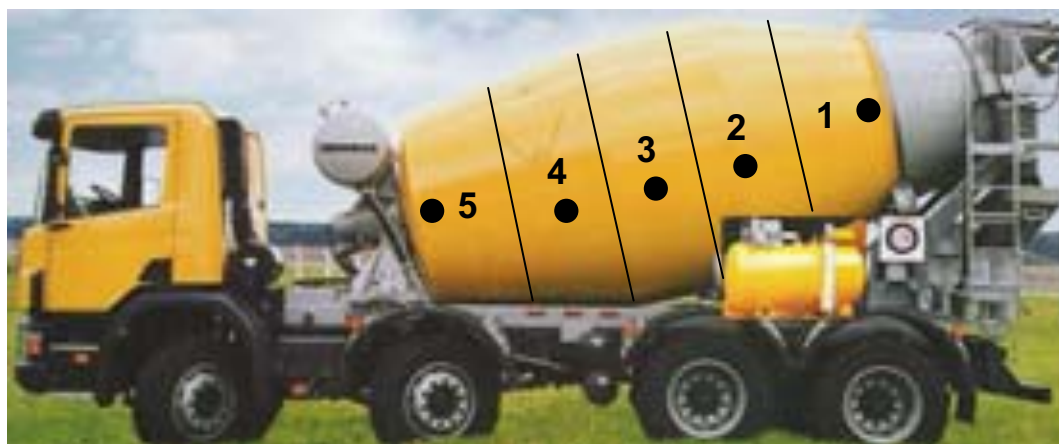


Ilustração 28 – Trechos onde os corpos de prova foram retirados

- Posição 01: amostra retirada no trecho inicial, primeira descarga;
- Posição 02: aproximadamente após a descarga de 2m^3 de concreto
- Posição 03: aproximadamente após a descarga de 4m^3 de concreto, este trecho representa o terço médio do caminhão betoneira, ponto em que serão conduzidas as análises em relação à NBR NM 33;
- Posição 04: aproximadamente após a descarga de 6m^3 de concreto;
- Posição 05: amostra retirada no trecho final, último 1m^3 de concreto descarregado do caminhão.

Para validar o critério estatístico adotado, houve a padronização dos materiais utilizados em todos os caminhões betoneira. O tempo de mistura energética na central dosadora foi entre 5 a 10 minutos ao chegar à obra e o tempo de transporte foi de 20 ± 5 min. Além disso, todos os caminhões betoneira eram novos e suas pás encontravam-se em excelentes condições.

O processo de moldagem seguiu todos os critérios estabelecidos pela NBR 5738. Após a moldagem, as amostras foram conduzidas a um local próximo, com proteção e permaneceram intactos por 24 horas, para que as características do concreto fossem preservadas. Os moldes foram posicionados em base regularizada e plana.

A desforma ocorreu após 24 horas e com os devidos cuidados para não danificar o corpo de prova. Imediatamente após esta etapa, os CP's foram colocados em tanque com água onde permaneceram até o momento do deslocamento ao local de ruptura, sendo 24 horas antes da data de ruptura (28 dias).

Por fim, o rompimento dos corpos de prova ocorreu aos 28 dias (ilustração 29). Os mesmos foram capeados com enxofre para evitar o atrito entre a prensa e o cilindro, além de distribuir a força de maneira uniforme no corpo de prova durante o ensaio à compressão.



Ilustração 29 – Rompimento dos corpos de prova aos 28 dias

5.2.1 Validação da amostra

Com o rompimento dos corpos de prova, foi promovido o cálculo da amostra (tabela 14), de acordo com a seguinte fórmula estatística:

$$n = \frac{(t.S)^2}{\delta}$$

n = nº de amostras

t – tabelado (obtido a partir do grau de liberdade da amostra);

S – desvio padrão da amostra;

δ – amplitude em função do intervalo de confiança.

Tabela 14 – Cálculo da amostra

| Variáveis da equação | | | Resultado |
|-----------------------------------|---------|----------------|-----------|
| t em função do grau de liberdade* | S (MPa) | δ (MPa) | n |
| 2,021 | 4,57 | 5 | 17 |

*valor de t, obtido através da tabela de distribuição t de student em função do grau de liberdade (ANEXO B), para uma distribuição bicaudal e nível de confiança igual a 95%.

Logo, o piloto adotado (n = 40) atendeu satisfatoriamente a população da obra em estudo (n = 40 > 17), podendo então ser definida como amostra da pesquisa.

A partir da definição da amostra, foi realizada uma análise estatística dos resultados, verificando a significância dos mesmos e quantos foram os grupos distintos de concreto dentro de cada caminhão betoneira, tendo como base para a análise a resistência à compressão. Ainda nesta etapa e com os mesmos resultados, foi promovida uma análise dos dados que foram coletados no terço médio do caminhão, como determina a NBR NM 33.

Neste caso, foi avaliado se as resistências alcançadas nestes corpos de prova apresentaram um resultado representativo.

5.3 RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta etapa foram apresentados na tabela 15, com a seguinte formatação:

- Colunas 1 e 3: identificação do corpo de prova (exemplo: CP 1/1, corpo de prova retirado do trecho 1 no caminhão 1);

- Colunas 2 e 4: o valor da resistência à compressão em cada trecho do caminhão

Tabela 15 – Resistência à compressão dos corpos de prova retirados do caminhão betoneira

| Identificação do CP | Resistência (Mpa) | Identificação do CP | Resistência (Mpa) |
|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1/1 | 25,08 | 5/1 | 39,09 |
| 1/2 | 26,61 | 5/2 | 36,80 |
| 1/3 | 25,21 | 5/3 | 35,78 |
| 1/4 | 26,74 | 5/4 | 37,18 |
| 1/5 | 29,92 | 5/5 | 39,85 |
| 2/1 | 28,14 | 6/1 | 34,38 |
| 2/2 | 28,52 | 6/2 | 34,76 |
| 2/3 | 28,78 | 6/3 | 36,03 |
| 2/4 | 27,50 | 6/4 | 38,71 |
| 2/5 | 22,66 | 6/5 | 33,36 |
| 3/1 | 33,74 | 7/1 | 37,31 |
| 3/2 | 34,38 | 7/2 | 37,82 |
| 3/3 | 32,34 | 7/3 | 36,29 |
| 3/4 | 34,25 | 7/4 | 37,43 |
| 3/5 | 34,50 | 7/5 | 31,07 |
| 4/1 | 22,66 | 8/1 | 33,87 |
| 4/2 | 30,43 | 8/2 | 35,01 |
| 4/3 | 30,43 | 8/3 | 37,05 |
| 4/4 | 29,67 | 8/4 | 34,12 |
| 4/5 | 31,83 | 8/5 | 34,12 |

Na ilustração 30 a resistência está representada no eixo cartesiano Y, em função do ponto de coleta da amostra (eixo x), mostrando o comportamento da resistência dentro de cada caminhão betoneira.

A partir dos resultados apresentados na tabela 15 e no gráfico da ilustração 30, para todos os caminhões, tem-se que a menor resistência foi de 22,66 MPa, a maior de 39,85 MPa e no total foram 2 pontos abaixo da resistência característica de projeto ($f_{ck} = 25$ MPa), sendo eles o ponto 2/5 com resistência de 22,66 MPa e o ponto 4/1 com resistência de 22,66 MPa. Cada caminhão apresentou um comportamento de resistência distinto com uma amplitude máxima de 9,17 MPa dentro do caminhão 4 e uma amplitude mínima de 2,16 MPa dentro do caminhão 3.

Comportamento da Resistência dentro do caminhão betoneira

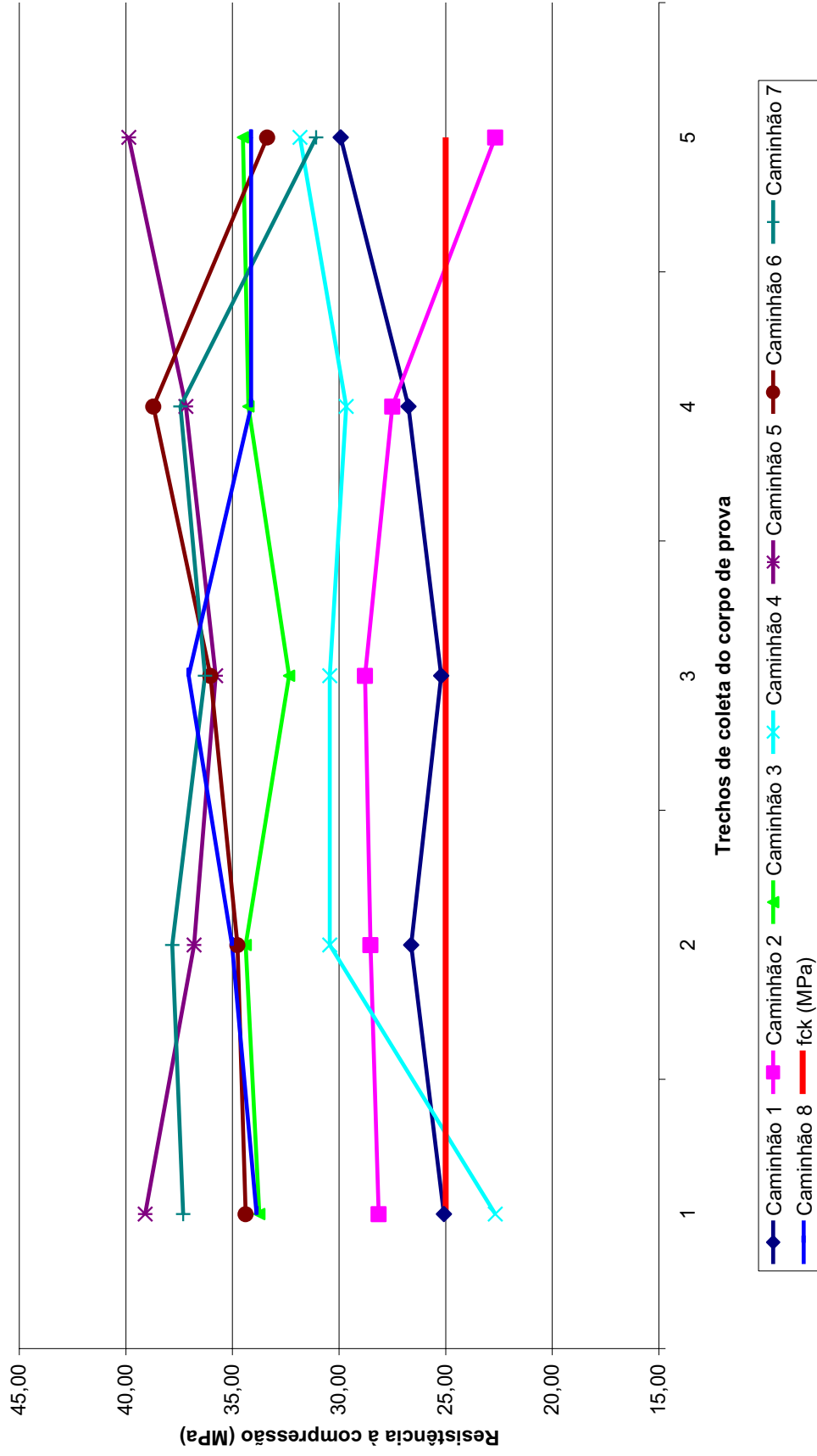


Ilustração 30 – Gráfico: Comportamento da resistência à compressão dentro do caminhão betoneira

5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.4.1 Análise estatística

A tabela 16 apresenta informações, que são importantes para a análise estatística dos resultados, sendo elas:

- O desvio padrão para cada caminhão (S_d);
- A média das resistências em cada caminhão;
- O coeficiente de variação (C.V.) em cada caminhão;
- A variação em MPa entre a resistência máxima e a resistência mínima (Δ)

Tabela 16– Cálculo dos parâmetros estatísticos

| Identificação do CP | Resistência (Mpa) | S_d (MPa) | Média (Mpa) | CV | Δ (Mpa) |
|---------------------|-------------------|-------------|-------------|-------|----------------|
| 1/1 | 25,08 | 1,95 | 26,71 | 7,30 | 4,84 |
| 1/2 | 26,61 | | | | |
| 1/3 | 25,21 | | | | |
| 1/4 | 26,74 | | | | |
| 1/5 | 29,92 | | | | |
| 2/1 | 28,14 | 2,54 | 27,12 | 9,35 | 6,11 |
| 2/2 | 28,52 | | | | |
| 2/3 | 28,78 | | | | |
| 2/4 | 27,50 | | | | |
| 2/5 | 22,66 | | | | |
| 3/1 | 33,74 | 0,89 | 33,84 | 2,63 | 2,16 |
| 3/2 | 34,38 | | | | |
| 3/3 | 32,34 | | | | |
| 3/4 | 34,25 | | | | |
| 3/5 | 34,50 | | | | |
| 4/1 | 22,66 | 3,63 | 29,00 | 12,51 | 9,17 |
| 4/2 | 30,43 | | | | |
| 4/3 | 30,43 | | | | |
| 4/4 | 29,67 | | | | |
| 4/5 | 31,83 | | | | |
| 5/1 | 39,09 | 1,68 | 37,74 | 4,46 | 4,07 |
| 5/2 | 36,80 | | | | |
| 5/3 | 35,78 | | | | |
| 5/4 | 37,18 | | | | |
| 5/5 | 39,85 | | | | |
| 6/1 | 34,38 | 2,06 | 35,45 | 5,81 | 5,35 |
| 6/2 | 34,76 | | | | |
| 6/3 | 36,03 | | | | |
| 6/4 | 38,71 | | | | |
| 6/5 | 33,36 | | | | |
| 7/1 | 37,31 | 2,80 | 35,98 | 7,80 | 6,75 |
| 7/2 | 37,82 | | | | |
| 7/3 | 36,29 | | | | |
| 7/4 | 37,43 | | | | |
| 7/5 | 31,07 | | | | |
| 8/1 | 33,87 | 1,31 | 34,84 | 3,77 | 3,18 |
| 8/2 | 35,01 | | | | |
| 8/3 | 37,05 | | | | |
| 8/4 | 34,12 | | | | |
| 8/5 | 34,12 | | | | |

$< f_{ck}$

f_c máx

Avaliando o comportamento da resistência, conforme a ilustração 30, observou-se que seis dos oito caminhões apresentaram a menor resistência no primeiro, ou último ponto de coleta, mostrando que a homogeneidade da massa fica comprometida. Durante a concretagem, é visível o aspecto fluido do concreto tanto no início, quanto no final da descarga. Para os outros dois caminhões o ponto três apresentou o menor resultado.

A coleta em vários trechos do caminhão mostrou a grande variabilidade existente no concreto (ilustração 30), não permitindo assim definir um comportamento matemático. Por isso, a coleta da amostra no terço médio do caminhão para determinar a resistência à compressão, pode realmente não caracterizar a amostra em estudo. Em alguns casos, como visto na tabela 16, o terceiro ponto de coleta (terço médio do caminhão), apresentou resultados de resistência altos (pontos: 6/3, 7/3 e 8/3), no entanto, em outra situação, a resistência chegou a atingir um resultado muito próximo do f_{ck} (ponto: 1/3), inclusive, para dois caminhões (n° 3 e n° 5) o terço médio apresentou a menor resistência dentre os cinco pontos de retirada dos corpos de prova

Ainda avaliando os dados da tabela 16, foi possível perceber que para alguns pontos, a resistência ficou abaixo do f_{ck} (pontos: 2/5 e 4/1), o que não garante e nem dá confiabilidade ao concreto que será utilizado na obra, pois a variabilidade é muito grande. Em outras circunstâncias, a resistência chega a ficar 19 MPa acima da resistência característica de projeto (ponto 5/5) e em outros não atende ao especificado.

Dentre os valores das resistências obtidos foram encontradas variações de 2 a 9 MPa aproximadamente (tabela 16), valores significativos dentro da engenharia, principalmente para um concreto de 25MPa que não caracteriza uma resistência alta. Tendo como base a amplitude de 5MPa considerada para o cálculo da amostra, tem-se que 50% dos caminhões apresentaram diferenças maiores que 5MPa.

5.4.2 Teste de significância

Em função da variabilidade encontrada, fez-se o teste de significância dos resultados através do programa *statistica*, como demonstrado na tabela 16. Este teste permite avaliar se a retirada das amostras em vários pontos do caminhão teve influência na variável dependente, a resistência à compressão.

Tabela 17 – Análise de significância da variável caminhão/ponto (Fonte: programa *statistica*)

| Univariate Tests of Significance, Effect Sizes, and Powers for Resistência a compressão (MPa) (An Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition) | | | | | | | | |
|---|----------|------------------|----------|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|
| Effect | SS | Degr. of Freedom | MS | F | p | Partial eta-squared | Non-centrality | Observed power |
| Intercept | 42472.59 | 1 | 42472.59 | 1340.251 | 0.000000 | 0.986297 | 1340.251 | 1.000000 |
| Caminhão/Ponto | 180.45 | 19 | 9.50 | 0.308 | 0.994415 | 0.221614 | 5.694 | 0.137289 |
| Error | 633.80 | 20 | 31.69 | | | | | |

Observando a tabela 17 percebe-se que a linha “Caminhão/ponto”, não está em vermelho, ou seja, a variável em questão não tem influência significativa na resistência a compressão. Tal conclusão é baseada em dados matemáticos e estatísticos, não levando em conta os conceitos de engenharia. Portanto, tendo como base os resultados da resistência à compressão, foram encontrados intervalos significativos de 2 a 9 MPa aproximadamente. Como é sabido, diferenças de tal magnitude são expressivas dentro dos conceitos da engenharia, um coeficiente de variação alto representa baixa qualidade do concreto. Por isso, mesmo não tendo uma resposta de significância do programa *statistica*, não se pode descartar que existe uma grande variabilidade neste concreto.

5.4.3 Teste de Duncan

Ainda dentro dos objetivos específicos da etapa 2, realizou-se o teste de Duncan para avaliar se as resistências obtidas em cada trecho do caminhão poderiam ser agrupadas, ou seja, através do teste foi possível quantificar os tipos de concreto existentes dentro de cada caminhão betoneira. De acordo com a tabela do Anexo C, obtida do programa *statistica*, nenhum dos pontos apresentaram semelhanças entre si a ponto de formarem um único grupo, logo, pode-se dizer que em cada caminhão existe no mínimo cinco tipos de concreto, considerando como variável para classificação a resistência à compressão. Caso existisse semelhança entre os pontos, o teste marcaria quais pontos se relacionam.

5.4.4 Análise do nível de controle segundo os critérios da NBR 7212

Em relação ao controle de qualidade, de acordo com os critérios da NBR 7212 (tabela 18), sete dos oito caminhões apresentaram classificação nível 1 (excelente) e apenas um caminhão foi classificado como nível 2 (muito bom). Portanto, de acordo com a NBR 7212, o desvio padrão não seria significativo e o controle poderia ser classificado como muito bom.

Tabela 18 – Classificação do nível de controle pelo desvio padrão (NBR 7212)

| Classificação | Classificação qualitativa | Limites p/ Central | |
|---------------|---------------------------|--------------------|-----------------|
| | | Desvio padrão | Nº de Caminhões |
| Nível 1 | Excelente | < 3,0 | 7 |
| Nível 2 | Muito bom | 3,0 a 4,0 | 1 |
| Nível 3 | Razoável | 4,0 a 5,0 | 0 |
| Nível 4 | Ruim | > 5,0 | 0 |

Ainda levando em conta os critérios da mesma norma, mas avaliando o coeficiente de variação (tabela 19), tem-se que um dos oito caminhões poderia ser classificado como nível 1 (excelente), dois como nível 2 (muito bom), um como nível 3 (razoável) e a maior parte deles, sendo quatro no total, como nível 4 (ruim). Logo, é possível perceber que tendo como base a mesma norma e os mesmos resultados, no entanto, considerando outro parâmetro (coeficiente de variação), a situação mudou para pior, indicando que mais de 80% dos caminhões apresentaram resultados a partir do nível 2 e 50% deles o pior nível.

Tabela 19 – Classificação do nível de controle pelo coeficiente de variação (NBR 7212)

| Classificação | Classificação qualitativa | Limites p/ Central | |
|---------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|
| | | Coeficiente de variação | Nº de Caminhões |
| Nível 1 | Excelente | < 3,0 | 1 |
| Nível 2 | Muito bom | 3,0 a 5,0 | 2 |
| Nível 3 | Razoável | 5,0 a 6,0 | 1 |
| Nível 4 | Ruim | > 6,0 | 4 |

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado na primeira etapa desta pesquisa que o método de mistura pode afetar a resistência à compressão (aos 28 dias) do concreto produzido em central. Através dos resultados obtidos, pode-se dizer que para este estudo, a central misturadora conseguiu produzir um concreto de melhor qualidade, ou seja, menor desvio padrão e uma maior resistência característica estimada.

Em relação a variabilidade deste concreto, a central misturadora também produziu um concreto mais homogêneo em relação a central dosadora. De acordo com a NBR 7212 o controle e produção do concreto foram classificados como muito bom, pois apresentaram um baixo desvio padrão e coeficiente de variação.

Com relação ao consumo de cimento, ainda dentro da etapa 1, verificou-se que para a central misturadora a redução do consumo de cimento poderia ser de 20 Kg/m³ de concreto, o que representa uma economia de 5,5% em relação à central dosadora.

Após a análise dos resultados da etapa 2, segundo critérios técnicos e a experiência da engenharia, somada ao teste estatístico de Duncan, foram contabilizados 5 tipos de concreto diferentes dentro de cada caminhão, sendo este um número mínimo, pois é equivalente ao número de corpos de prova retirados de cada caminhão, tendo como base para esta classificação a resistência à compressão.

Quanto a variabilidade do concreto dentro do caminhão betoneira, foi observado um alto coeficiente de variação, o que caracteriza um controle ruim da produção do concreto. Além disso, foram encontradas amplitudes significativas entre as resistências obtidas em cada trecho do caminhão betoneira.

Ainda em relação as amostras retiradas dos caminhões, foi notório que os corpos de prova colhidos no terço médio do mesmo, não garantiram que aquela amostra fosse representativa do total, já que em alguns casos, a resistência ficou acima do f_{ck} e em outros casos, ficou muito próxima do f_{ck} , não indicando um comportamento confiável, devido a grande variabilidade existente dentro do caminhão betoneira.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se realizar avaliações comparativas de outras propriedades do concreto produzido em central misturadora e central dosadora, como a variação da trabalhabilidade, o módulo de elasticidade ou a resistência à tração. Além disso,

avaliar os tempos de mistura dentro da central dosadora e sua influência na qualidade do concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem . **Manual do Concreto Dosado em Central**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/pdf/manual.pdf>>. Acesso em: 04 abril. 2008.

ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem. **Concreto em destaque**. São Paulo, 2007. Disponível em: < http://www.abesc.org.br/info_cDes.htm>. Acesso em: 04 abril. 2008.

ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem. **Princípios básicos do concreto dosado em central**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/pdf/pbasico.pdf>>. Acesso em: 04 abril. 2008.

ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem. Apresenta informações sobre o concreto dosado em central no Brasil e no mundo. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br>>. Acesso em: 04 abril. 2008.

AÏTCIN, P. Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 9, p. 1349-59, sep. 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214-1977). ACI Manual of concrete practice, Detroit: 1997.

ANDRADE, J.J.O.; DAL MOLIN, D.C.C. Durabilidade das estruturas de concreto armado: Análise dos elementos estruturais mais degradados no Estado de Pernambuco. Florianópolis, SC. 1998. v.1 p.235-244. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7°, Florianópolis. 1998. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos de prova NBR 5738. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos NBR 5739. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Execução de concreto dosado em central NBR 7212. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência NBR 8953. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Controle tecnológico de materiais componentes do concreto NBR 12654. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento NBR 12655. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto - Amostragem de concreto fresco NBR NM 33. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone NBR NM 67. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

BETONMAC – S.A. Apresenta informações sobre **os tipos de misturadores**. Disponível em: <http://www.betonmac.com>. Acesso em: 03 março. 2009.

BRASIL. Lei Complementar nº 116, de 31 de julho de 2003. Dispõe sobre o Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza, de competência dos Municípios e do Distrito Federal, e dá outras providências. **Diário Oficial (da República Federativa do Brasil)**, Brasília, DF. Lista de serviços anexada a lei, item 7.02.

CAVALHEIRO, E. K. **Concreto dosado em obra na cidade de Chapecó: verificação da variabilidade da resistência como fator para a otimização do binômio custo x desempenho**. 2004. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil, Universidade Comunitária Regional de Chapecó.

CONSTRUÇÃO MERCADO – Revista negócios de incorporação e construção. **Concreto dosado em central**. São Paulo, ed.30, 2003. Disponível em: <http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/30/artigo122019-1.asp>. Acesso em: 26 janeiro. 2009.

DAFICO, D. A. **Contribuição ao estudo de dosagem do concreto de cimento portland**. 1997. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

DIAS, Luiz Filipe. **Apostila Estatística**. 2003. 139 f. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2003.

FALCÃO BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e científicos, Editora S/A, 1994. 951 p.

GUIMARÃES, Cristiano Oliveira. **Avaliação do uso da água magnetizada na produção de concretos em centrais**. 2006. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Materiais de Construção Civil: Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1 ed. São Paulo: G.C. Isaia: Ibracon, 2007. 2v.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Controle de qualidade do concreto**. 1980. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

ISAIA, Geraldo Cechella. Perspectivas ambientais e econômicas do concreto com altos teores de adições minerais: um estudo de caso. Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 19-30, abr./jun. 2004.

KAKUZAKU, Roberto. Concreto Dosado em Central: Traço usinado. Concreto Usinado, São Paulo, ed.30, 2007. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/30/artigo122019-1.asp>>. Acesso em: 29 julho 2009

LIEBHERR – Brasil G. M. O. Ltda. Apresenta informações sobre **os tipos de centrais**. Disponível em: <<http://www.liebherr.com>>. Acesso em: 04 abril. 2008.

MARTINS, V. C.; SOUSA, G. G. e PRUDÊNCIO JR., L. R. Otimização da dosagem de concreto produzido em central - estudo de caso. Em: Anais do 46º Congresso Brasileiro do Concreto, 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2004.

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

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto**. Trad. Salvador E. Giammusso. 2ª ed. ver. Atual. São Paulo: Pini, 1997.

Portal do Concreto. Apresenta informações sobre **os tipos de centrais dosadoras e misturadoras**. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br>>. Acesso em: 04 abril. 2008.

SCHWINGSTETTER. Apresenta informações sobre **os tipos de centrais**. Disponível em: <<http://www.schwingstetter.com.br>>. Acesso em: 04 abril. 2008.

TÉCHNE – Revista do engenheiro civil. **Concreto não conforme**. São Paulo, ed.152, p.42-54, 2009.

VALOIS, J.G.C. O uso do concreto de alta resistência – Comentários sobre a produção e comportamento no estado fresco. In: Reibrac – Reunião Anual do IBRACON 36. 1994. Porto Alegre. Anais ... Porto Alegre: Ibracon, 1994, p.567-580.

ANEXO A

RESULTADOS DA CENTRAL MISTURADORA

| Exemplares | Central Misturadora | Exemplares | Central Misturadora |
|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | Fc (Mpa) | | Fc (Mpa) |
| 1 | 33,4 | 37 | 34,5 |
| 2 | 32,7 | 38 | 35,3 |
| 3 | 33,1 | 39 | 33,5 |
| 4 | 33,5 | 40 | 33,5 |
| 5 | 34,9 | 41 | 34,1 |
| 6 | 32,4 | 42 | 33,2 |
| 7 | 33,7 | 43 | 32,2 |
| 8 | 31,1 | 44 | 31,9 |
| 9 | 32,7 | 45 | 34,6 |
| 10 | 31,8 | 46 | 34,3 |
| 11 | 33,9 | 47 | 34,6 |
| 12 | 32,3 | 48 | 33,9 |
| 13 | 33,0 | 49 | 34,1 |
| 14 | 34,6 | 50 | 33,6 |
| 15 | 33,7 | 51 | 33,6 |
| 16 | 32,1 | 52 | 34,1 |
| 17 | 33,5 | 53 | 33,3 |
| 18 | 33,1 | 54 | 34,7 |
| 19 | 34,9 | 55 | 33,4 |
| 20 | 34,8 | 56 | 33,1 |
| 21 | 34,9 | 57 | 34,4 |
| 22 | 33,5 | 58 | 32,0 |
| 23 | 33,5 | 59 | 32,5 |
| 24 | 35,1 | 60 | 33,1 |
| 25 | 34,1 | 61 | 31,3 |
| 26 | 33,7 | 62 | 33,3 |
| 27 | 33,1 | 63 | 31,0 |
| 28 | 33,7 | 64 | 31,8 |
| 29 | 34,1 | 65 | 35,3 |
| 30 | 33,6 | 66 | 35,4 |
| 31 | 35,2 | 67 | 35,5 |
| 32 | 34,6 | 68 | 34,5 |
| 33 | 34,3 | 69 | 34,3 |
| 34 | 32,7 | 70 | 34,4 |
| 35 | 33,5 | 71 | 33,7 |
| 36 | 34,2 | 72 | 31,3 |

RESULTADOS DA CENTRAL MISTURADORA

| Exemplares | Central Misturadora |
|------------|---------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 73 | 32,1 |
| 74 | 33,2 |
| 75 | 33,9 |
| 76 | 33,1 |
| 77 | 33,5 |
| 78 | 33,0 |
| 79 | 34,3 |
| 80 | 34,5 |
| 81 | 32,3 |
| 82 | 34,1 |
| 83 | 34,1 |
| 84 | 33,7 |
| 85 | 34,4 |
| 86 | 33,4 |
| 87 | 34,3 |
| 88 | 33,4 |
| 89 | 33,1 |
| 90 | 33,2 |
| 91 | 33,4 |
| 92 | 35,0 |
| 93 | 35,7 |
| 94 | 32,5 |
| 95 | 32,6 |
| 96 | 32,1 |
| 97 | 34,0 |
| 98 | 33,6 |
| 99 | 33,2 |
| 100 | 33,7 |
| 101 | 32,1 |
| 102 | 34,1 |
| 103 | 32,6 |
| 104 | 34,0 |
| 105 | 35,4 |
| 106 | 33,6 |
| 107 | 32,2 |
| 108 | 33,7 |

| Exemplares | Central Misturadora |
|------------|---------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 109 | 32,8 |
| 110 | 33,5 |
| 111 | 34,1 |
| 112 | 34,5 |
| 113 | 33,0 |
| 114 | 33,6 |
| 115 | 32,0 |
| 116 | 33,1 |
| 117 | 33,7 |
| 118 | 34,5 |
| 119 | 32,9 |
| 120 | 33,5 |
| 121 | 33,4 |
| 122 | 33,6 |
| 123 | 33,7 |
| 124 | 32,1 |
| 125 | 32,9 |
| 126 | 34,4 |
| 127 | 33,2 |
| 128 | 31,7 |
| 129 | 33,1 |
| 130 | 32,5 |
| 131 | 32,0 |
| 132 | 33,4 |
| 133 | 34,5 |
| 134 | 32,7 |
| 135 | 34,0 |
| 136 | 31,0 |
| 137 | 32,3 |
| 138 | 33,6 |
| 139 | 30,8 |
| 140 | 33,6 |
| 141 | 33,4 |
| 142 | 33,9 |
| 143 | 33,5 |
| 144 | 32,7 |

RESULTADOS DA CENTRAL MISTURADORA

| Exemplares | Central Misturadora |
|------------|---------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 145 | 34,1 |
| 146 | 33,6 |
| 147 | 33,6 |
| 148 | 32,4 |
| 149 | 34,8 |
| 150 | 35,0 |
| 151 | 35,3 |
| 152 | 31,8 |
| 153 | 33,1 |
| 154 | 33,2 |
| 155 | 32,8 |
| 156 | 33,3 |
| 157 | 32,4 |
| 158 | 34,5 |
| 159 | 34,3 |
| 160 | 35,1 |
| 161 | 31,5 |
| 162 | 32,0 |
| 163 | 31,2 |
| 164 | 35,4 |
| 165 | 32,7 |
| 166 | 34,6 |
| 167 | 34,4 |
| 168 | 33,9 |
| 169 | 33,2 |
| 170 | 33,7 |
| 171 | 33,2 |
| 172 | 33,9 |

| Exemplares | Central Misturadora |
|------------|---------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 173 | 33,1 |
| 174 | 33,5 |
| 175 | 33,4 |
| 176 | 32,6 |
| 177 | 32,7 |
| 178 | 32,2 |
| 179 | 33,1 |
| 180 | 33,6 |
| 181 | 32,6 |
| 182 | 33,7 |
| 183 | 31,8 |
| 184 | 34,6 |
| 185 | 33,5 |
| 186 | 32,0 |
| 187 | 33,4 |
| 188 | 34,8 |
| 189 | 33,0 |
| 190 | 35,3 |
| 191 | 32,3 |
| 192 | 34,9 |
| 193 | 31,9 |
| 194 | 33,4 |
| 195 | 34,1 |
| 196 | 34,2 |
| 197 | 32,6 |
| 198 | 33,5 |
| 199 | 34,9 |
| 200 | 34,1 |

RESULTADOS DA CENTRAL DOSADORA

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 1 | 33,30 |
| 2 | 35,60 |
| 3 | 39,60 |
| 4 | 40,50 |
| 5 | 37,30 |
| 6 | 36,50 |
| 7 | 39,00 |
| 8 | 32,70 |
| 9 | 37,60 |
| 10 | 37,30 |
| 11 | 36,30 |
| 12 | 36,20 |
| 13 | 35,10 |
| 14 | 36,10 |
| 15 | 41,40 |
| 16 | 35,30 |
| 17 | 40,80 |
| 18 | 36,10 |
| 19 | 33,20 |
| 20 | 34,50 |
| 21 | 33,40 |
| 22 | 32,40 |
| 23 | 30,10 |
| 24 | 28,40 |
| 25 | 32,10 |
| 26 | 30,60 |
| 27 | 30,90 |
| 28 | 30,50 |
| 29 | 32,70 |
| 30 | 30,00 |
| 31 | 33,50 |
| 32 | 36,10 |
| 33 | 33,90 |
| 34 | 32,60 |
| 35 | 33,30 |
| 36 | 26,90 |

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 37 | 34,50 |
| 38 | 30,30 |
| 39 | 29,70 |
| 40 | 30,60 |
| 41 | 27,60 |
| 42 | 31,60 |
| 43 | 27,50 |
| 44 | 26,00 |
| 45 | 34,30 |
| 46 | 31,80 |
| 47 | 34,40 |
| 48 | 34,50 |
| 49 | 33,40 |
| 50 | 31,80 |
| 51 | 34,00 |
| 52 | 40,20 |
| 53 | 28,30 |
| 54 | 30,00 |
| 55 | 35,70 |
| 56 | 38,50 |
| 57 | 37,30 |
| 58 | 35,70 |
| 59 | 37,30 |
| 60 | 36,40 |
| 61 | 36,50 |
| 62 | 39,60 |
| 63 | 34,00 |
| 64 | 41,30 |
| 65 | 35,10 |
| 66 | 42,60 |
| 67 | 33,80 |
| 68 | 34,00 |
| 69 | 36,10 |
| 70 | 33,20 |
| 71 | 32,00 |
| 72 | 30,50 |

RESULTADOS DA CENTRAL DOSADORA

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 73 | 33,40 |
| 74 | 28,30 |
| 75 | 27,70 |
| 76 | 29,30 |
| 77 | 23,60 |
| 78 | 32,30 |
| 79 | 27,70 |
| 80 | 34,50 |
| 81 | 35,70 |
| 82 | 35,70 |
| 83 | 31,70 |
| 84 | 36,20 |
| 85 | 34,90 |
| 86 | 30,10 |
| 87 | 34,70 |
| 88 | 36,60 |
| 89 | 34,90 |
| 90 | 36,40 |
| 91 | 34,50 |
| 92 | 34,00 |
| 93 | 31,40 |
| 94 | 33,20 |
| 95 | 32,50 |
| 96 | 31,40 |
| 97 | 32,40 |
| 98 | 32,10 |
| 99 | 32,50 |
| 100 | 29,30 |
| 101 | 31,00 |
| 102 | 30,60 |
| 103 | 29,30 |
| 104 | 31,00 |
| 105 | 29,90 |
| 106 | 31,00 |
| 107 | 29,70 |
| 108 | 34,00 |

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 109 | 30,10 |
| 110 | 31,70 |
| 111 | 33,40 |
| 112 | 34,10 |
| 113 | 32,30 |
| 114 | 30,40 |
| 115 | 29,00 |
| 116 | 29,90 |
| 117 | 32,10 |
| 118 | 29,30 |
| 119 | 32,40 |
| 120 | 33,20 |
| 121 | 34,00 |
| 122 | 27,60 |
| 123 | 30,00 |
| 124 | 36,90 |
| 125 | 33,20 |
| 126 | 32,70 |
| 127 | 33,40 |
| 128 | 34,50 |
| 129 | 31,80 |
| 130 | 28,90 |
| 131 | 31,30 |
| 132 | 27,80 |
| 133 | 38,10 |
| 134 | 37,20 |
| 135 | 37,30 |
| 136 | 36,20 |
| 137 | 36,60 |
| 138 | 38,90 |
| 139 | 28,30 |
| 140 | 39,00 |
| 141 | 35,10 |
| 142 | 40,60 |
| 143 | 39,20 |
| 144 | 40,70 |

RESULTADOS DA CENTRAL DOSADORA

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 145 | 37,20 |
| 146 | 36,40 |
| 147 | 34,90 |
| 148 | 37,60 |
| 149 | 34,50 |
| 150 | 34,10 |
| 151 | 39,30 |
| 152 | 40,40 |
| 153 | 37,50 |
| 154 | 32,50 |
| 155 | 33,80 |
| 156 | 31,70 |
| 157 | 31,10 |
| 158 | 29,80 |
| 159 | 30,00 |
| 160 | 31,20 |
| 161 | 30,60 |
| 162 | 28,20 |
| 163 | 30,30 |
| 164 | 34,30 |
| 165 | 29,30 |
| 166 | 27,20 |
| 167 | 30,00 |
| 168 | 30,60 |
| 169 | 33,20 |
| 170 | 32,80 |
| 171 | 37,00 |
| 172 | 35,70 |
| 173 | 36,40 |
| 174 | 34,50 |
| 175 | 37,00 |
| 176 | 34,80 |
| 177 | 32,30 |
| 178 | 36,40 |
| 179 | 33,20 |
| 180 | 35,30 |

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 181 | 36,60 |
| 182 | 33,20 |
| 183 | 34,90 |
| 184 | 37,40 |
| 185 | 32,70 |
| 186 | 32,40 |
| 187 | 34,50 |
| 188 | 32,30 |
| 189 | 33,00 |
| 190 | 33,80 |
| 191 | 36,10 |
| 192 | 32,70 |
| 193 | 31,10 |
| 194 | 33,80 |
| 195 | 30,60 |
| 196 | 32,10 |
| 197 | 32,80 |
| 198 | 32,30 |
| 199 | 31,10 |
| 200 | 33,00 |
| 201 | 33,40 |
| 202 | 33,80 |
| 203 | 31,80 |
| 204 | 31,30 |
| 205 | 30,00 |
| 206 | 36,80 |
| 207 | 33,80 |
| 208 | 34,10 |
| 209 | 31,80 |
| 210 | 30,60 |
| 211 | 38,90 |
| 212 | 36,30 |
| 213 | 31,70 |
| 214 | 39,50 |
| 215 | 38,10 |
| 216 | 33,10 |

RESULTADOS DA CENTRAL DOSADORA

| Exemplares | Central Dosadora | Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) | | Fc (Mpa) |
| 217 | 32,50 | 253 | 34,50 |
| 218 | 39,50 | 254 | 36,80 |
| 219 | 29,20 | 255 | 34,00 |
| 220 | 34,10 | 256 | 40,30 |
| 221 | 31,30 | 257 | 35,00 |
| 222 | 30,30 | 258 | 31,80 |
| 223 | 34,80 | 259 | 36,90 |
| 224 | 32,60 | 260 | 38,50 |
| 225 | 34,50 | 261 | 36,20 |
| 226 | 35,40 | 262 | 38,30 |
| 227 | 32,70 | 263 | 36,80 |
| 228 | 33,00 | 264 | 37,90 |
| 229 | 34,70 | 265 | 39,60 |
| 230 | 34,40 | 266 | 39,00 |
| 231 | 34,30 | 267 | 34,40 |
| 232 | 34,90 | 268 | 38,50 |
| 233 | 32,10 | 269 | 37,20 |
| 234 | 35,90 | 270 | 34,70 |
| 235 | 35,80 | 271 | 36,20 |
| 236 | 35,60 | 272 | 36,30 |
| 237 | 33,50 | 273 | 34,00 |
| 238 | 33,40 | 274 | 35,50 |
| 239 | 32,30 | 275 | 35,70 |
| 240 | 33,80 | 276 | 33,80 |
| 241 | 32,90 | 277 | 34,80 |
| 242 | 36,20 | 278 | 31,60 |
| 243 | 35,20 | 279 | 34,50 |
| 244 | 35,60 | 280 | 37,80 |
| 245 | 35,60 | 281 | 36,40 |
| 246 | 35,20 | 282 | 35,60 |
| 247 | 34,30 | 283 | 31,60 |
| 248 | 33,70 | 284 | 39,50 |
| 249 | 37,20 | 285 | 38,20 |
| 250 | 34,90 | 286 | 37,10 |
| 251 | 35,90 | 287 | 37,90 |
| 252 | 35,70 | 288 | 40,30 |

RESULTADOS DA CENTRAL DOSADORA

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 289 | 38,40 |
| 290 | 34,30 |
| 291 | 31,70 |
| 292 | 31,10 |
| 293 | 29,90 |
| 294 | 34,80 |
| 295 | 34,60 |
| 296 | 34,50 |
| 297 | 34,40 |
| 298 | 31,10 |
| 299 | 30,20 |
| 300 | 31,70 |
| 301 | 38,00 |
| 302 | 37,60 |
| 303 | 36,80 |
| 304 | 36,90 |
| 305 | 36,90 |
| 306 | 36,80 |
| 307 | 37,90 |
| 308 | 32,10 |
| 309 | 35,80 |
| 310 | 35,70 |
| 311 | 31,50 |
| 312 | 37,70 |
| 313 | 39,40 |
| 314 | 35,70 |
| 315 | 33,40 |
| 316 | 34,80 |
| 317 | 34,10 |
| 318 | 34,90 |
| 319 | 33,70 |
| 320 | 28,10 |
| 321 | 31,40 |
| 322 | 34,00 |
| 323 | 36,80 |
| 324 | 36,70 |

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 325 | 37,40 |
| 326 | 35,70 |
| 327 | 35,20 |
| 328 | 35,00 |
| 329 | 35,30 |
| 330 | 33,10 |
| 331 | 39,20 |
| 332 | 32,20 |
| 333 | 32,80 |
| 334 | 32,80 |
| 335 | 32,40 |
| 336 | 31,80 |
| 337 | 33,10 |
| 338 | 30,50 |
| 339 | 31,20 |
| 340 | 36,80 |
| 341 | 33,50 |
| 342 | 32,20 |
| 343 | 37,30 |
| 344 | 34,10 |
| 345 | 35,40 |
| 346 | 35,40 |
| 347 | 35,60 |
| 348 | 34,50 |
| 349 | 31,80 |
| 350 | 34,30 |
| 351 | 32,70 |
| 352 | 30,60 |
| 353 | 31,80 |
| 354 | 38,20 |
| 355 | 32,30 |
| 356 | 34,10 |
| 357 | 33,10 |
| 358 | 33,00 |
| 359 | 33,70 |
| 360 | 33,00 |

RESULTADOS DA CENTRAL DOSADORA

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 361 | 37,30 |
| 362 | 37,70 |
| 363 | 34,50 |
| 364 | 36,00 |
| 365 | 36,30 |
| 366 | 35,30 |
| 367 | 35,10 |
| 368 | 34,80 |
| 369 | 36,90 |
| 370 | 36,00 |
| 371 | 31,90 |
| 372 | 30,70 |
| 373 | 36,40 |
| 374 | 31,00 |
| 375 | 28,40 |
| 376 | 31,30 |
| 377 | 32,00 |
| 378 | 31,50 |
| 379 | 32,80 |
| 380 | 30,20 |
| 381 | 32,10 |
| 382 | 33,80 |
| 383 | 34,60 |
| 384 | 32,00 |
| 385 | 30,60 |
| 386 | 28,40 |
| 387 | 31,50 |
| 388 | 29,70 |
| 389 | 31,80 |
| 390 | 35,80 |
| 391 | 28,40 |
| 392 | 31,30 |
| 393 | 29,00 |
| 394 | 29,40 |
| 395 | 32,60 |
| 396 | 37,00 |

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 397 | 32,10 |
| 398 | 36,50 |
| 399 | 38,30 |
| 400 | 37,70 |
| 401 | 37,10 |
| 402 | 36,70 |
| 403 | 37,10 |
| 404 | 39,50 |
| 405 | 37,10 |
| 406 | 39,60 |
| 407 | 34,40 |
| 408 | 36,90 |
| 409 | 34,80 |
| 410 | 35,60 |
| 411 | 36,10 |
| 412 | 35,70 |
| 413 | 35,30 |
| 414 | 39,20 |
| 415 | 38,40 |
| 416 | 41,50 |
| 417 | 42,00 |
| 418 | 39,60 |
| 419 | 38,40 |
| 420 | 35,70 |
| 421 | 34,30 |
| 422 | 37,80 |
| 423 | 38,30 |
| 424 | 36,40 |
| 425 | 37,90 |
| 426 | 26,90 |
| 427 | 35,00 |
| 428 | 36,00 |
| 429 | 31,90 |
| 430 | 29,60 |
| 431 | 38,80 |
| 432 | 31,50 |

RESULTADOS DA CENTRAL DOSADORA

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 433 | 33,40 |
| 434 | 32,80 |
| 435 | 32,40 |
| 436 | 29,50 |
| 437 | 36,70 |
| 438 | 36,50 |
| 439 | 37,10 |
| 440 | 30,80 |
| 441 | 38,60 |
| 442 | 32,30 |
| 443 | 36,90 |
| 444 | 36,90 |
| 445 | 37,40 |
| 446 | 39,00 |
| 447 | 35,10 |
| 448 | 32,60 |
| 449 | 33,20 |
| 450 | 26,00 |
| 451 | 30,60 |
| 452 | 37,70 |
| 453 | 39,10 |
| 454 | 39,60 |
| 455 | 35,70 |
| 456 | 39,60 |
| 457 | 38,60 |
| 458 | 38,00 |
| 459 | 37,30 |
| 460 | 36,40 |
| 461 | 38,10 |
| 462 | 36,80 |
| 463 | 38,60 |
| 464 | 36,90 |
| 465 | 34,80 |
| 466 | 34,00 |
| 467 | 30,50 |
| 468 | 31,30 |

| Exemplares | Central Dosadora |
|------------|------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 469 | 33,10 |
| 470 | 38,20 |
| 471 | 33,90 |
| 472 | 33,80 |
| 473 | 34,70 |
| 474 | 35,00 |
| 475 | 36,70 |
| 476 | 32,40 |
| 477 | 38,10 |
| 478 | 36,90 |
| 479 | 39,10 |
| 480 | 31,40 |
| 481 | 33,40 |
| 482 | 33,80 |
| 483 | 35,80 |
| 484 | 37,90 |
| 485 | 33,70 |
| 486 | 35,30 |
| 487 | 33,40 |
| 488 | 37,10 |
| 489 | 33,30 |
| 490 | 33,20 |
| 491 | 32,30 |
| 492 | 35,40 |
| 493 | 34,40 |
| 494 | 34,40 |
| 495 | 35,60 |
| 496 | 34,00 |
| 497 | 35,10 |
| 498 | 36,90 |
| 499 | 34,90 |
| 500 | 30,60 |
| 501 | 31,80 |
| 502 | 28,70 |
| 503 | 40,60 |
| 504 | 39,60 |

RESULTADOS DA CENTRAL DOSADORA

| Exemplares | Central Dosadora |
|-------------------|-------------------------|
| | Fc (Mpa) |
| 505 | 36,90 |
| 506 | 40,20 |
| 507 | 42,80 |
| 508 | 38,50 |
| 509 | 40,20 |
| 510 | 36,10 |
| 511 | 37,10 |
| 512 | 39,40 |
| 513 | 34,60 |
| 514 | 36,90 |
| 515 | 36,40 |
| 516 | 38,00 |
| 517 | 36,10 |
| 518 | 39,60 |
| 519 | 32,10 |
| 520 | 40,00 |

ANEXO B

VALORES CRÍTICOS DA DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT

| Valores críticos da distribuição t de Student | | | | | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|------------------------|
| Bicaudal | | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,002 | 0,001 | Nível de significância |
| Unicaudal | | 0,10 | 0,05 | 0,025 | 0,01 | 0,005 | 0,001 | 0,0005 | |
| 1 | G | 3,078 | 6,314 | 12,71 | 31,82 | 63,66 | 318,3 | 637, | 1 |
| 2 | R | 1,886 | 2,920 | 4,303 | 6,965 | 9,925 | 22,330 | 31,6 | 2 |
| 3 | A | 1,638 | 2,353 | 3,182 | 4,541 | 5,841 | 10,210 | 12,92 | 3 |
| 4 | U | 1,533 | 2,132 | 2,776 | 3,747 | 4,604 | 7,173 | 8,610 | 4 |
| 5 | S | 1,476 | 2,015 | 2,571 | 3,365 | 4,032 | 5,893 | 6,869 | 5 |
| 6 | | 1,440 | 1,943 | 2,447 | 3,143 | 3,707 | 5,208 | 5,959 | 6 |
| 7 | D | 1,415 | 1,895 | 2,365 | 2,998 | 3,499 | 4,785 | 5,408 | 7 |
| 8 | E | 1,397 | 1,860 | 2,306 | 2,896 | 3,355 | 4,501 | 5,041 | 8 |
| 9 | | 1,383 | 1,833 | 2,262 | 2,821 | 3,250 | 4,297 | 4,781 | 9 |
| 10 | L | 1,372 | 1,812 | 2,228 | 2,764 | 3,169 | 4,144 | 4,587 | 10 |
| 11 | I | 1,363 | 1,796 | 2,201 | 2,718 | 3,106 | 4,025 | 4,437 | 11 |
| 12 | B | 1,356 | 1,782 | 2,179 | 2,681 | 3,055 | 3,930 | 4,318 | 12 |
| 13 | E | 1,350 | 1,771 | 2,160 | 2,650 | 3,012 | 3,852 | 4,221 | 13 |
| 14 | R | 1,345 | 1,761 | 2,145 | 2,624 | 2,977 | 3,787 | 4,140 | 14 |
| 15 | D | 1,341 | 1,753 | 2,131 | 2,602 | 2,947 | 3,733 | 4,073 | 15 |
| 16 | A | 1,337 | 1,746 | 2,120 | 2,583 | 2,921 | 3,686 | 4,015 | 16 |
| 17 | D | 1,333 | 1,740 | 2,110 | 2,567 | 2,898 | 3,646 | 3,965 | 17 |
| 18 | E | 1,330 | 1,734 | 2,101 | 2,552 | 2,878 | 3,610 | 3,922 | 18 |
| 19 | | 1,328 | 1,729 | 2,093 | 2,539 | 2,861 | 3,579 | 3,883 | 19 |
| 20 | * | 1,325 | 1,725 | 2,086 | 2,528 | 2,845 | 3,552 | 3,850 | 20 |
| 21 | | 1,323 | 1,721 | 2,080 | 2,518 | 2,831 | 3,527 | 3,819 | 21 |
| 22 | P | 1,321 | 1,717 | 2,074 | 2,508 | 2,819 | 3,505 | 3,792 | 22 |
| 23 | R | 1,319 | 1,714 | 2,069 | 2,500 | 2,807 | 3,485 | 3,768 | 23 |
| 24 | O | 1,318 | 1,711 | 2,064 | 2,492 | 2,797 | 3,467 | 3,745 | 24 |
| 25 | F | 1,316 | 1,708 | 2,060 | 2,485 | 2,787 | 3,450 | 3,725 | 25 |
| 26 | | 1,315 | 1,706 | 2,056 | 2,479 | 2,779 | 3,435 | 3,707 | 26 |
| 27 | M | 1,314 | 1,703 | 2,052 | 2,473 | 2,771 | 3,421 | 3,690 | 27 |

| | | | | | | | | | |
|------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|
| 28 | E | 1,313 | 1,701 | 2,048 | 2,467 | 2,763 | 3,408 | 3,674 | 28 |
| 29 | | 1,311 | 1,699 | 2,045 | 2,462 | 2,756 | 3,396 | 3,659 | 29 |
| 30 | I | 1,310 | 1,697 | 2,042 | 2,457 | 2,750 | 3,385 | 3,646 | 30 |
| 32 | B | 1,309 | 1,694 | 2,037 | 2,449 | 2,738 | 3,365 | 3,622 | 32 |
| 34 | E | 1,307 | 1,691 | 2,032 | 2,441 | 2,728 | 3,348 | 3,601 | 34 |
| 36 | R | 1,306 | 1,688 | 2,028 | 2,434 | 2,719 | 3,333 | 3,582 | 36 |
| 38 | Ê | 1,304 | 1,686 | 2,024 | 2,429 | 2,712 | 3,319 | 3,566 | 38 |
| 40 | | 1,303 | 1,684 | 2,021 | 2,423 | 2,704 | 3,307 | 3,551 | 40 |
| 42 | L | 1,302 | 1,682 | 2,018 | 2,418 | 2,698 | 3,296 | 3,538 | 42 |
| 44 | U | 1,301 | 1,680 | 2,015 | 2,414 | 2,692 | 3,286 | 3,526 | 44 |
| 46 | I | 1,300 | 1,679 | 2,013 | 2,410 | 2,687 | 3,277 | 3,515 | 46 |
| 48 | Z | 1,299 | 1,677 | 2,011 | 2,407 | 2,682 | 3,269 | 3,505 | 48 |
| 50 | | 1,299 | 1,676 | 2,009 | 2,403 | 2,678 | 3,261 | 3,496 | 50 |
| 55 | D | 1,297 | 1,673 | 2,004 | 2,396 | 2,668 | 3,245 | 3,476 | 55 |
| 60 | I | 1,296 | 1,671 | 2,000 | 2,390 | 2,660 | 3,232 | 3,460 | 60 |
| 65 | | 1,295 | 1,669 | 1,997 | 2,385 | 2,654 | 3,220 | 3,447 | 65 |
| 70 | T | 1,294 | 1,667 | 1,994 | 2,381 | 2,648 | 3,211 | 3,435 | 70 |
| 80 | I | 1,292 | 1,664 | 1,990 | 2,374 | 2,639 | 3,195 | 3,416 | 80 |
| 100 | Z | 1,290 | 1,660 | 1,984 | 2,364 | 2,626 | 3,174 | 3,390 | 100 |
| 150 | I | 1,287 | 1,655 | 1,976 | 2,351 | 2,609 | 3,145 | 3,357 | 150 |
| 200 | O | 1,286 | 1,653 | 1,972 | 2,345 | 2,601 | 3,131 | 3,340 | 200 |
| Nível de significância | | 0,10 | 0,05 | 0,025 | 0,01 | 0,005 | 0,001 | 0,0005 | Unicaudal |
| | | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,002 | 0,001 | Bicaudal |

