

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GILBERTO APARECIDO DOMINGUES JUNIOR

**CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO APLICADO NA  
PRODUÇÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL *IN LOCO* NA CIDADE  
DE CAMPO MOURÃO - PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

GILBERTO APARECIDO DOMINGUES JUNIOR

**CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO APLICADO NA  
PRODUÇÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL *IN LOCO* NA CIDADE  
DE CAMPO MOURÃO - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ma. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Nº 63

**CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO APLICADO NA PRODUÇÃO DO  
CONCRETO ESTRUTURAL *IN LOCO* NA CIDADE DE CAMPO MOURÃO - PR**

por

**Gilberto Aparecido Domingues Junior**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 08h20min do dia 04 de agosto de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado

**Prof. Me. Alexis Kiouranis**  
( UTFPR )

**Profª. Ma. Maria Cristina R. Halmeman**  
( UTFPR )

**Prof. Ma. Paula Cristina de Souza**  
(UTFPR)  
*Orientador*

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## RESUMO

JUNIOR, Gilberto Aparecido Domingues. **Controle Estatístico do Processo aplicado na produção do concreto estrutural *in loco* na cidade de Campo Mourão - PR.** 2014. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

O presente trabalho tem como objetivo fundamental verificar a qualidade do concreto estrutural confeccionado *in loco* na cidade de Campo Mourão – PR, seguindo as recomendações da norma brasileira NBR 12655 (ABNT,2006) sendo a resistência a compressão a propriedade analisada. A análise consistiu em comparar a resistência de dosagem teórica ( $f_{ck}$ ), descrita no método ABCP/ACI, com a resistência de rompimento dos corpos de prova ( $f_{ck\ est}$ ) confeccionados *in loco*. A pesquisa foi realizada em uma obra de médio porte em construção, onde foram coletados 34 exemplares de pilares aleatórios durante o processo de concretagem. Foram realizados ensaios de umidade da areia e abatimento do tronco do concreto. Para a apresentação do traço utilizado em obra realizou-se experimentos de determinação das características dos agregados e mediu-se as padiolas usadas para a dosagem do concreto. Os corpos de prova foram encaminhados para o laboratório da UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - para o seu rompimento, após 28 dias de cura submersos em água, na máquina EMIC PCE100C. Os resultados obtidos a partir do rompimento dos exemplares passaram por uma análise estatística com o auxílio da ferramenta de controle estatístico do processo (CEP). Diante dos valores coletados concluiu-se a não conformidade do concreto produzido *in loco* ocasionando a rejeição do mesmo segundo a norma NBR 12655 (ABNT,2006). Por fim, sugeriu-se metodologias de análise, por extração de testemunhos, dos estados limites últimos e de serviço das peças confeccionadas com o propósito de averiguar a eficiência real da estrutura, apresentando as restrições e medidas a serem tomadas para a confiabilidade da mesma.

**Palavras chave:** Controle estatístico. Resistência a compressão. Qualidade na construção.

## ABSTRACT

JUNIOR, Gilberto Aparecido Domingues. **Statistical Control of Applied Process at structural concrete's production in loco in Campo Mourão - PR.** 2014. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

The present work has its fundamental point on verifying the quality of structural concrete made *in loco* in Campo Mourão - PR, following the the Brazilian standard NBR 12655/2006 and the compressive strength of the analyzed property's recommendations. The analysis consisted of comparing the strength of theoretical dosage ( $f_{ck}$ ), described in ABCP / ICA method, with the breaking strength of the body proofs ( $f_{ck\ est}$ ) made up on the spot. This survey was conducted within a work of a medium-sized construction, where 34 copies of random pillars were collected during the concreting process. Tests of sand and subsidence of the concrete's stem. For the presentation of the trace used in work was carried out experiments to determine the households' characteristics and measured the stretchers used for the concrete's estimation. The body proofs were sent to the UTFPR's lab - Federal Technological Paraná University - for their breakup after 28 days of curing submerged in water, the EMIC PCE100C machine. The results from the breakup of the pieces underwent a statistical analysis with the statistical process control tool's aid. Given the values collected it was concluded the nonconformity of concrete produced *in loco* causing a rejection of the same according to NBR 12655/2006. Thus, there is an importance of monitoring the quality of concrete produced *in loco* for the concreted structure achieves satisfactory strength. Finally, it was suggested methods of analysis for extracting ultimate limit states' testimonies and service of made with the purpose of ascertaining the actual structure's efficiency, with the restrictions and measures to be taken to the reliability of the same.

**Keywords:** Statistical Control, Compressive Strength, Quality in construction

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comportamento do concreto e de seus constituintes.....	13
Figura 2 – Abatimento tronco de cone .....	16
Figura 3 – Esquema de uma curva de inchamento .....	20
Figura 4 – Determinação do fator x em função da resistência do concreto os 28 dias. .....	26
Figura 5 – Fluxograma da metodologia realizada .....	31
Figura 6 – Teste de slump realizado in loco .....	32
Figura 7 – Máquina de rompimento EMIC PCE100C.....	33
Figura 8 – Amplitude móvel da resistência à compressão dos exemplares .....	39
Figura 9 – Média das resistências à compressão dos exemplares .....	40
Figura 10 – Amplitude móvel da resistência à compressão dos exemplares .....	40
Figura 11 – Média das resistências à compressão dos exemplares .....	41
Figura 12 – Amplitude móvel da resistência à compressão dos exemplares .....	42
Figura 13 - Média das resistências à compressão dos exemplares .....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do agregado miúdo quanto ao módulo de finura.....	13
Tabela 2 - Classificação do agregado graúdo quanto ao tamanho predominante dos grãos .....	14
Tabela 3 – Desvio padrão em função das condições de preparo.....	21
Tabela 4 – Valores de abatimentos recomendados em função do tipo de obra.....	24
Tabela 5 – Quantidade de Água de amassamento em função do abatimento e da dimensão máxima do agregado .....	25
Tabela 6 – Determinação do volume de agregado seco .....	27
Tabela 7 – Características da obra estudada.....	36
Tabela 8 – Dados adquiridos para a obtenção do traço utilizado in loco .....	37
Tabela 9 - Resistência à compressão, slump e consistência dos exemplares.....	38
Tabela 10 – Resultados estatísticos finais do rompimento dos exemplares .....	43
Tabela 11 – Coeficiente de variação dos resultados obtidos em função da resistência teórica .....	44

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	7
2 JUSTIFICATIVA .....	9
3 OBJETIVO .....	11
3.1 OBJETIVO GERAL .....	11
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	11
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
4.1 CONCRETO ESTRUTURAL .....	12
4.1.1 Agregado .....	13
4.1.2 Pasta de Cimento .....	15
4.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO .....	15
4.2.1 Trabalhabilidade .....	15
4.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO .....	17
4.3.1 Durabilidade .....	17
4.3.2 Resistência Mecânica .....	17
4.4 DOSAGEM .....	18
4.5 RESISTÊNCIA DE DOSAGEM .....	19
4.6 MÉTODO DE DOSAGEM DE CONCRETO ABCP/ACI .....	21
4.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO .....	21
4.8 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO ABCP/ACI .....	24
4.8.1 Determinação da consistência .....	24
4.8.2 Determinação das dimensões do agregado .....	24
4.8.3 Determinação da Quantidade de Água de Amassamento .....	25
4.8.4 Determinação do fator Água/Cimento .....	25
4.8.5. Determinação do consumo de cimento. ....	26
4.8.6 Determinação dos agregados. ....	27
4.8.7 Apresentação do traço. ....	29
5 METODOLOGIA .....	30
5.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE DOSAGEM .....	31
5.2 COLETA DE AMOSTRAS .....	32
5.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA REAL .....	33
5.4 FERRAMENTA CONTROLE ESTATISTICO DO PROCESSO - CEP .....	34
6 RESULTADOS .....	36
6.1 RESISTÊNCIA DE DOSAGEM .....	36
6.2 RESISTÊNCIA AXIAL A COMPRESSÃO DO CONCRETO PRODUZIDO <i>IN LOCO</i> .....	37
6.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO .....	39
6.4 ANÁLISE FINAL DA QUALIDADE DO CONCRETO PRODUZIDO <i>IN LOCO</i> .....	43
7 CONCLUSÃO .....	46
REFERÊNCIAS .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

Com o grande crescimento urbano, hoje o concreto é um dos produtos de grande consumo mundial, além de ser o principal produto na construção civil. Sua grande utilização se dá pelos seguintes fatores: fácil manuseio, baixo custo, ser resistente a água e ter grande disponibilidade dos recursos necessários para a sua produção. Sua composição é feita tanto por aglomerantes (cimento e água), que fornecem ligação entre os demais componentes, quanto por agregados graúdos e miúdos (brita e areia) (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Schefflue (2001, apud Silva et al, 2005), destaca a resistência a compressão como a propriedade de maior importância do concreto por caracterizar seu comportamento mecânico. A mesma é diretamente afetada pela dosagem e pela metodologia aplicada na produção do material no canteiro de obra.

A dosagem é a escolha certa dos componentes do concreto, determinando a quantidade de cada componente visando manter a qualidade (resistência, consistência e durabilidade) e economia de materiais (NEVILLE, 1982). Além de determinar a quantidade mais econômica, é determinante no desempenho do concreto para a finalidade estabelecida, estando assim relacionada diretamente com as propriedades do concreto.

O controle de qualidade do concreto na sua confecção *in loco* é precário, assim como sua manutenção. Quando feito *in loco*, temos muitas variáveis que podem afetar na qualidade do concreto, entre elas destaca-se os intempéries que os materiais estão sujeitos na sua armazenagem, ou até uma dosagem equivocada do operário. Fazendo com que se torne cada vez mais necessário a avaliação do concreto como controle de qualidade.

Com a crescente exigência do mercado em relação a qualidade de seus produtos, a construção civil tem procurado se adequar a essa nova realidade, as empresas tem buscado programas como o sistema de qualidade PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat), que possuem requisitos mínimos para a qualidade dos serviços prestados, assim como dos insumos usados em seus produtos.

O presente trabalho avaliará a qualidade do concreto produzido no canteiro de obra da cidade de Campo Mourão, com o auxílio da ferramenta de controle estatístico do processo, a partir de corpos de prova que serão coletados na obra, levados a laboratório e submetidos a testes de resistência a compressão e analisados a partir dos seus respectivos traços e resistências teóricas.

## 2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, com a crescente demanda do setor da construção civil e exigência do mercado no controle de qualidade, tem-se a necessidade de se construir com maior rapidez mantendo os padrões de qualidade regidos pelo mercado. Com as tecnológicas e os conhecimentos atuais sobre o concreto, hoje somos capazes de produzir o concreto em grande escala com um controle de qualidade e transportá-los prontos para o seu uso nas obras.

A utilização do concreto usinado vem tomando espaço na construção civil principalmente pela maior velocidade de execução e por reduzir os desperdícios que encontram-se no setor construtivo atual. Quando o concreto usinado chega a seu destino final, são coletados corpos de provas para avaliar se o concreto entregue está coerente com as necessidades do cliente e se corresponde a qualidade normatizada pela empresa.

Apesar de todas as vantagens do concreto usinado, em certas etapas da construção se torna inviável a sua utilização, verifica-se que quando o volume de concreto é limitado a menos de 08 (oito) metros cúbicos ( $m^3$ ) na prática a opção feita é pelo uso do concreto confeccionado *in loco*, isso pode ser observado por exemplo em peças de pequenas dimensões, por questões econômicas, ou quando se tem um número limitado de formas e há necessidade de substituição conforme a concretagem é executada.

A confecção do concreto no canteiro de obras pode ser feita de duas maneiras: amassamento manual ou amassamento mecânico, onde na primeira a mistura é realizada exclusivamente pelo operário e na segunda a mistura é produzida com o auxílio de uma betoneira. Independente da maneira com que é confeccionado o concreto, é evidente a importância da perícia do profissional que realiza a dosagem, já que esse processo pode causar interferências na resistência à compressão do concreto.

É visível a falta de verificação da qualidade do concreto confeccionado *in loco*. Uma vez que os materiais estão sujeitos a intempéries e o mesmo é produzido por pessoas sem treinamento específico, faz-se necessário a análise de sua resistência a

compressão, averiguando se sua resistência de dosagem projetada está de acordo com a resistência real.

A confecção de uma peça de concreto *in loco* é feita em várias etapas de produção do concreto, sendo assim o processo de produção deste produto nunca é realizado de maneira uniforme, o que pode acarretar em perda de propriedades importantes para toda a estrutura.

A pesquisa tem objetivo de avaliar, com ajuda da ferramenta CEP (Controle Estatístico do Processo), a resistência a compressão axial do concreto confeccionado *in loco* aplicado em uma construção na cidade de Campo Mourão - PR, afim de verificar se o processo de produção está sob controle.

### 3 OBJETIVO

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da produção do concreto estrutural *in loco* em uma obra com o auxílio da ferramenta Controle estatístico do processo (CEP).

#### 3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar a resistência a compressão axial do concreto coletado *in loco* em uma obra de Campo Mourão – PR;
- Determinar a resistência teórica do concreto produzido *in loco* através do traço utilizado;
- Determinar a variação da resistência à compressão entre o concreto produzido na obra e a resistência teórica apresentada pelo método ABCP/ACI;
- Utilizar a ferramenta de controle estatístico do processo para verificar se o processo está sob controle, dentro de limites aceitáveis.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 CONCRETO ESTRUTURAL

O concreto é o material mais utilizado no cenário da construção civil atual, seu uso abusivo se dá por razões básicas, são três os motivos relevantes: boa resistência à ação da água, baixo custo de fabricação e fácil trabalhabilidade quando encontrado no estado fresco (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Sua composição se dá por um meio aglomerante, formado pela mistura do cimento com a água, que engloba os agregados miúdos e graúdos adicionados na mistura. Após sua mistura o concreto passa por um processo de hidratação fazendo com que a pasta adquira uma resistência inicial tornando o concreto sólido. Logo após a realização da mistura dos materiais é indispensável a apresentação de plasticidade elevada para o manuseio do concreto (SOBRAL, 2000 & PETRUCCI, 2005).

Segundo Neville (1997), os materiais utilizados no concreto não podem apresentar impurezas, pois as mesmas podem afetar as características mecânicas do concreto. Precauções maiores devem ser tomadas em relação a água utilizada, que pode estar infectada com reagentes químicos críticos para os demais materiais utilizados na mistura, provocando patologias.

As características dos materiais utilizados na composição do concreto estão diretamente ligadas às propriedades do concreto tanto quando fresco como também quando endurecido (LODI, 2006).

O comportamento mecânico apresentado pelo concreto normalmente se encontra entre o apresentado pela pasta de cimento hidratada e os agregados utilizados na sua composição, conforme apresentado na Figura 1

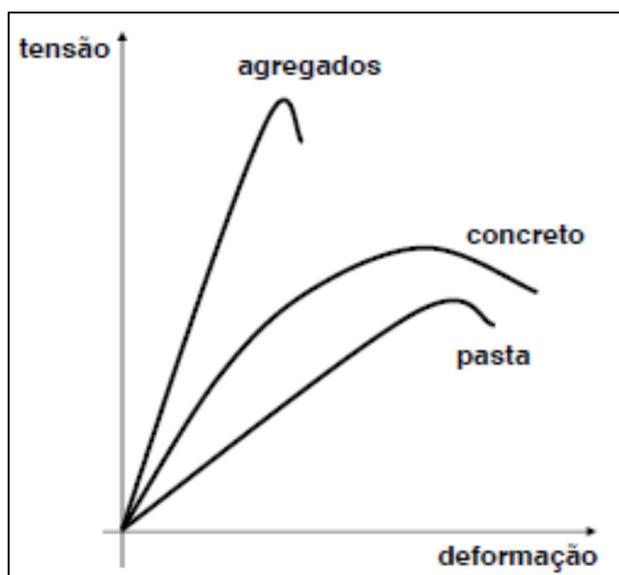


Figura 1 – Comportamento do concreto e de seus constituintes  
 FONTE: MEHTA E MONTEIRO (2008)

#### 4.1.1 Agregado

Agregados são materiais granulares que podem ser encontrados diretamente da natureza (Britas e Areias), de reaproveitamento de rejeitos urbanos e industriais (escórias de alto forno) e de processos industriais (argilas expandidas). Pode ser classificado em relação ao tamanho: agregado miúdo ou graúdo (SANTIAGO, 2011).

Agregado miúdo (areia) é definido, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), como todos os grãos que se limitam entre 150 $\mu$ m e 4,75mm. A norma ainda classifica os agregados miúdos de acordo com sua finura, como apresentado na Tabela 1:

**Tabela 1 - Classificação do agregado miúdo quanto ao módulo de finura**

Classificação do Agregado miúdo		
Descrição	Módulo de Finura (mm)	
	Máximo	Mínimo
Areia Grossa	4,05	3,35
Areia Média	3,35	2,4
Areia Fina	2,4	1,97
Areia Muito Fina	1,97	0

FONTE: Adaptado da NBR 7211 (2009)

O módulo de finura mais indicado para a confecção do concreto estrutural é a Areia Grossa, entretanto é aceitável a utilização da areia com o módulo de finura entre 2,4 e 3,35.

Agregados graúdos, também conhecido como brita, são aqueles cujos grãos são maiores que 4,75mm e menores que 75mm, são classificados, assim como a areia, em diferentes categorias em função do tamanho predominante dos grãos (ABNT, 2009; FUSCO, 2008). Assim como sugerido na Tabela 2 apresentada a seguir:

**Tabela 2 - Classificação do agregado graúdo quanto ao tamanho predominante dos grãos**

Descrição	Classificação do Agregado graúdo	
	Diâmetro (mm)	
	Máximo	Mínimo
Brita 0	9,5	4,8
Brita 1	19	9,5
Brita 2	25	19
Brita 3	50	25
Brita 4	75	50

**FONTE: Adaptado de SCHEFFLER (2011)**

A brita mais comum para o uso nas misturas de concreto é a número 1, por atender aos critérios de resistência e dimensões dos agregados.

Segundo Guimarães (2006) a constituição do concreto é cerca de 80% de agregados, sendo assim se faz necessário uma preocupação com suas características, dentre elas devem apresentar resistência à compressão e ao desgaste, serem graduados reduzindo o volume da pasta, que deve encher os espaços entre os agregados.

As dimensões dos agregados graúdos influenciam na sua ligação com a pasta de cimento, enfraquecendo-a caso esses agregados sejam grandes ou achatados, por reterem água de exsudação. Esse enfraquecimento pode refletir na resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

#### 4.1.2 Pasta de Cimento

Para Santiago (2011), “A pasta de cimento hidratado é uma reunião relativamente heterogênea de partículas, filmes, micro cristais e elementos sólidos, ligados por uma massa porosa contendo, em seu estado primitivo, porções com alguns vazios e soluções.”

A formação da Pasta de Cimento se dá com a reação química do cimento em contato com a água, uma vez que o cimento entra em contato com a água e seus compostos formam cristais que se entrelaçam com o decorrer da adição de água.

Sabendo que a durabilidade do concreto está associada à permeabilidade da pasta de cimento, é correto afirmar que a pasta é a fase que mais influência na durabilidade do concreto (SANTIAGO, 2011).

O concreto estrutural apresenta diferentes características, tanto quando fresco como também quando endurecido, cada uma destas etapas apresentam suas principais características. As características relevantes para a pesquisa a ser realizada serão descritas a seguir.

### 4.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

#### 4.2.1 Trabalhabilidade

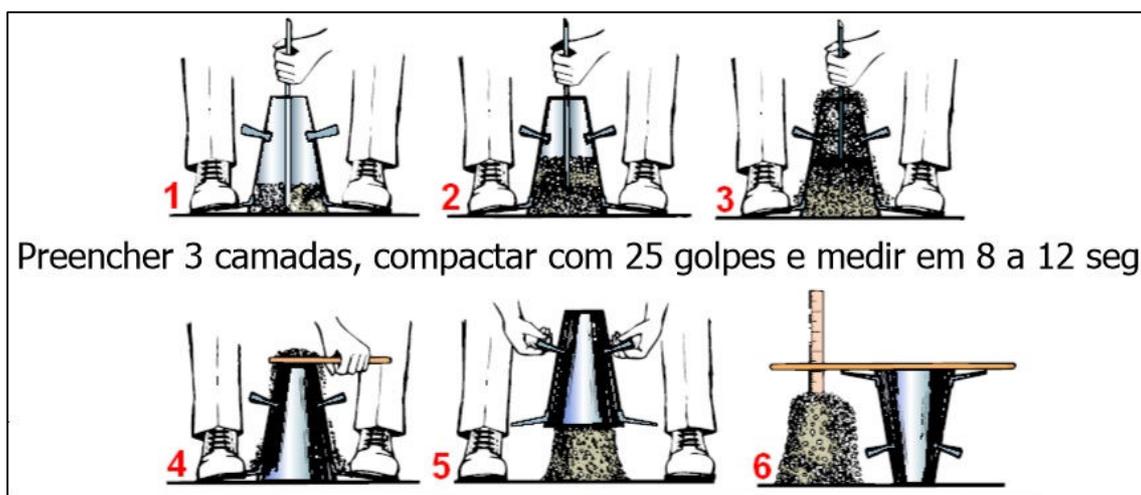
Propriedade do concreto ainda no estado fresco que indica sua aptidão a ser aplicado, sem perda de sua homogeneidade, em diferentes etapas da obra desde sua aplicação em lajes até sua aplicação em pilares.

A trabalhabilidade é fundamental para a realização do transporte, adensamento e lançamento do concreto, algumas aplicações requerem uma maior trabalhabilidade, como por exemplo quando aplicado em áreas de ancoragem é necessário observar sua trabalhabilidade em relação a passagem dos agregados pelo espaçamentos entre as barras de aço.

A trabalhabilidade não é apenas uma característica inerente ao próprio concreto, mas envolve também as considerações relativas à natureza da obra e aos métodos de execução adotados. Podendo ser trabalhável para um caso, e não para outros (BAUER, 2005).

Para Petrucci (2005) a trabalhabilidade é relacionada a quantidade de energia necessária para que ocorra o deslocamento da massa de concreto. Esse deslocamento pode ser medido pelo método mais conhecido como Slump ou abatimento do tronco de cone, tal método mede a consistência e a fluidez do concreto causado pelo próprio peso.

O ensaio de abatimento tronco de cone é regulamentado no país pela NBR NM 67 (ABNT, 1998), o método utiliza um tronco de diâmetro inferior de vinte (20) centímetros e superior de dez (10) centímetros que é preenchido em três (3) etapas, onde no fim de cada etapa a massa é submetida a vinte e cinco (25) golpes com uma haste metálica com o diâmetro igual a dezesseis (16) milímetros, conforme apresentado na Figura 2:



**Figura 2 – Abatimento tronco de cone**  
**FONTE: Mehta e Monteiro (2008)**

## 4.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

### 4.3.1 Durabilidade

A durabilidade de uma estrutura de concreto armado pode ser entendida como a capacidade da estrutura de concreto resistir a ataques de agentes externos e internos. Quando danificado à exposição de ataques e suas principais características não são afetadas, significa que o concreto é durável.

A exposição do concreto a intempéries faz com que o material se modifique constantemente tanto fisicamente quanto quimicamente, assim como existem ambientes desfavoráveis ao concreto, onde se faz necessário maiores preocupações em relação à sua durabilidade, existem também ambientes favoráveis anulando algumas preocupações que em diferentes ocasiões deveriam ser levadas em consideração.

A impermeabilidade está diretamente relacionada à durabilidade do concreto. Um concreto impermeável impede o acesso de agentes agressivos.

Para Lodi (2007) o concreto pode ser considerado durável quando mantém sua forma, qualidade e utilização originais quando exposto a agentes externos (intempéries). O autor ainda destaca que o concreto necessita de manutenções periódicas para que seja considerado durável, assim como não deve ser utilizado para fins diferentes da sua função original.

### 4.3.2 Resistência Mecânica

A capacidade de resistência mecânica é a característica mais analisada do concreto, a partir de sua resistência somos capazes de estimar valores de outras propriedades como o módulo de elasticidade.

O concreto apresenta resistências a tensões de compressão e tração, sendo a resistência aos esforços de tração algo em torno de 10% do valor apresentado pelo mesmo em relação aos esforços de compressão (PETRUCCI, 2005).

São vários os fatores que influenciam na resistência de um concreto, entre eles podemos destacar a variabilidade do cimento, agregado, água e aditivos; a qualidade e o manuseio dos equipamentos de dosagem e mistura e a eficiência das operações de ensaio e controle. Dentre os fatores apresentados o principal é a relação água/cimento, quando o volume de água adicionado ao cimento é superior ao necessário para as reações de hidratação, a evaporação do excesso de água deixa um maior volume de vazios na pasta, afetando assim diretamente a resistência do concreto (LODI, 2006; HELENE e TERZIAN, 2001).

Para a determinação da qualidade do concreto, sua aceitação ou rejeição, é utilizado como parâmetro a sua capacidade de resistência à compressão, onde seus limites de aceitação são determinados pela norma brasileira.

#### 4.4 DOSAGEM

Processo que determina a proporção a ser utilizada dos materiais na produção do concreto, de forma a atingir as propriedades solicitadas do mesmo enquanto fresco e endurecido visando a economia dos materiais. Para Fusco (2008) as propriedades do concreto são diretamente ligadas à dosagem da mistura, pois além de determinar a combinação mais econômica, rege o desempenho mínimo para a finalidade de projeto.

A dosagem pode ser vista como sendo a meta necessária para que se tenha o resultado desejado das propriedades do material. Segundo Helene e Terzian (2001), no caso da dosagem do concreto se faz um estudo do uso dos seus materiais: cimento, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra) e água, significando que o uso abusivo dos mesmos acarreta em implicações na sua propriedade, tais como:

Quanto ao uso abusivo do cimento:

- Maior coesão;
- Maior plasticidade;
- Maior retração;
- Menor segregação;
- Maior calor de hidratação.

Quanto ao uso excessivo do agregado miúdo:

- Aumento no consumo de água e cimento;
- Maior plasticidade.

Quanto ao uso de agregado graúdo arredondados e lisos:

- Menor aderência a pasta;
- Maior plasticidade.

A dosagem do concreto tem como objetivo recomendar a proporção adequada de aglomerante, agregados miúdo e graúdo, água e aditivos visando as condições de trabalhabilidade enquanto fresco, as propriedades exigidas no projeto estrutural de acordo com as especificações de cálculo quando endurecido, que seja durável e econômico (PRISZKULNIK, 1997).

#### 4.5 RESISTÊNCIA DE DOSAGEM

A resistência de dosagem é empregada para delimitar todo o processo inserido na dosagem do concreto. Para a NBR 12655 (ABNT, 2006), “a resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade prevalentes durante a produção. Esta variabilidade medida pelo desvio-padrão ( $S_d$ ) é levada em conta no cálculo da resistência de dosagem, segundo a equação 1”:

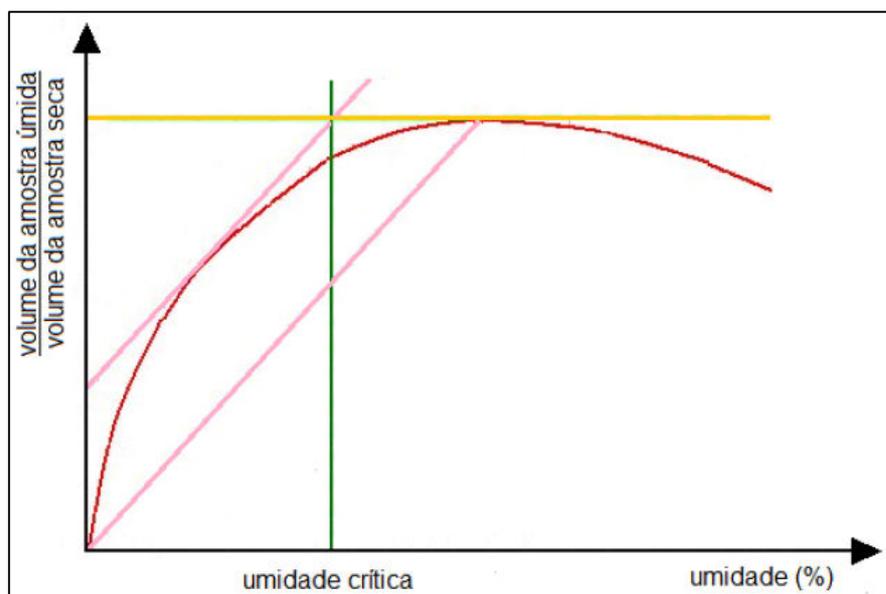
$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d \quad (1)$$

Onde:

- $F_{cj}$  é a resistência média do concreto à compressão prevista, para a idade de  $j$  dias, em Mpa;
- $F_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão, em Mpa;
- $S_d$  é o desvio padrão da dosagem, em Mpa.

O Desvio padrão deve ser determinado por meio das condições em que o concreto é preparado, onde a NBR 12655 (ABNT, 2006), sugere valores de desvio padrão de acordo com as condições descritas abaixo:

- Condição A (aplicável às classes C10 até C80 do concreto): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com o auxílio de um dosador é corrigida em função da umidade dos agregados;
- Condição B (aplicável às classes C10 até C25 do concreto): o cimento é medido em massa, os agregados medidos em massa e volume e a água de amassamento é medida em volume – aplicável às classes C10 até C20: o cimento é medido em massa, os agregados e a água de amassamento são medidos em volume. A umidade da areia (agregado miúdo) deve ser verificada três vezes durante a concretagem, sendo o volume desse agregado corrigido através da curva de inchamento a seguir apresentada na Figura 2:



**Figura 3 – Esquema de uma curva de inchamento**

**FONTE: SANTIAGO (2011)**

- Condição C (aplicável às classes C10 e C15 do concreto): o cimento é medido em massa, a água de amassamento e os agregados são medidos em volume.

A Tabela 1.3 apresentada a seguir demonstra quais os valores do desvio padrão que devem ser adotado de acordo com a sua condição de preparo.

**Tabela 3 – Desvio padrão em função das condições de preparo**

Definição do valor do desvio padrão	
Condições de Preparo	Desvio padrão (Mpa)
A	4
B	5,5
C	7

**FONTE: Adaptado da NBR:12655 (2006)**

#### 4.6 MÉTODO DE DOSAGEM DE CONCRETO ABCP/ACI

O método de dosagem da ABCP/ACI tem como preocupação principal a busca pela trabalhabilidade adequada para o trabalho a ser executado, adequando para cada granulometria de areia e cada tamanho máximo de brita, um valor máximo do volume de agregado compactado seco por m<sup>3</sup> de concreto. (BOGGIO, 2000)

O mesmo autor ressalta ainda que o método procura sempre à disposição uniforme dos agregados na mistura, visando um volume menor de vazios, maior resistência e melhor trabalhabilidade. A apresentação do método é feita em etapas bem definidas, de fácil interpretação, com o auxílio de tabelas para a obtenção de um traço de partida com uma mistura mais econômica, por se tratar de um processo desenvolvido para concretos de consistência plástica.

#### 4.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Qualquer que seja o processo de produção de um determinado elemento sempre existirá uma certa quantidade de variabilidade inerente ou natural. Essa variabilidade é resultante de efeito cumulativo de muitas causas pequenas, muitas vezes inevitáveis. Quando a variabilidade em um processo é relativamente pequena geralmente o consideramos em um nível aceitável de desempenho do processo. Um processo quando operando somente com causas casuais de variação é considerado sob controle (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Para o mesmo autor outros tipos de variabilidade podem estar presentes em um processo de três fontes diferentes: máquinas não propriamente ajustadas, erros dos operados ou matérias primas defeituosas. Tal variabilidade é geralmente grande quando comparada com as causas casuais, sendo assim chamadas de causas atribuídas, representando usualmente um nível inaceitável de desempenho de processo. Um processo que esteja operando na presença de causas atribuídas é dito estar fora de controle.

Ao lidar com uma característica da qualidade, é comum analisar tanto o valor médio da característica como a sua variabilidade (amplitude móvel nos casos de amostras individuais). O controle da média do processo ou do nível médio da qualidade é feito através do gráfico de controle para médias, ou gráfico  $\bar{X}$ . A variabilidade do processo pode ser monitorada pelo gráfico para a amplitude móvel, chamado gráfico  $\overline{MR}$ . O gráfico  $\overline{MR}$  é mais usado. Em geral, mantêm-se os dois gráficos separados para cada uma das características da qualidade de interesse (MONTGOMERY, 2004).

É importante manter controle tanto sobre a média quanto sobre a variabilidade do processo.

Montgomery (2004) especifica ainda o uso da amplitude móvel de duas observações consecutivas como base para estimar a variabilidade do processo para unidades individuais e a define segundo a equação 2:

$$MR=|x_i-x_{i-1}| \quad (2)$$

Onde:

- MR é a amplitude móvel;
- $X_i$  o valor em análise;
- $X_{i-1}$  o valor que antecede o em análise.

O mesmo autor destaca que ao aplicar os métodos, o Limite Inferior de Controle (LIC) e o Limite Superior de Controle (LSC) aparecem balizando os dados. Quando um ou mais valores de  $\bar{X}$  e  $\overline{MR}$  se figurem fora de controle quando comparados com os limites gráficos, é feito um exame em cada um dos pontos fora de controle à procura e uma causa atribuível. Quando a causa atribuível é identificada, o ponto é descartado e os limites de controle tentativos são calculados e examinados

novamente, de posse apenas dos pontos restantes. Dessa forma os pontos que estavam sob controle podem agora estar fora de controle.

Os cálculos de limites superior e inferior de controle para o gráficos de média são feitos pelas seguintes equações, respectivamente:

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3)$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4)$$

Onde :

- LSC é o limite superior de controle;
- LIC é o limite inferior de controle;
- $\bar{x}$  é a média dos dados em estudo;
- $\overline{MR}$  é a amplitude móvel média;
- $d_2$  é o fator para Limites de Controle

Para o gráfico de amplitude móvel, temos as seguintes equações para os limites superiores e inferiores, respectivamente:

$$LSC = (3,267)\overline{MR} \quad (5)$$

$$LIC = 0 \quad (6)$$

Onde:

- LSC é o limite superior de controle;
- LIC é o limite inferior de controle;
- $\overline{MR}$  é a amplitude móvel média.

Devem ser tomados alguns cuidados na interpretação de padrões no gráfico das amplitudes móveis por serem correlacionadas, essa correlação pode muitas vezes induzir em padrão de sequência ou ciclos no gráfico. Em contra partida supõe-

se que as medidas do gráfico das médias não são correlacionadas e qualquer padrão aparente nesse gráfico deve ser investigado (MONTGOMERY, 2004).

#### 4.8 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO ABCP/ACI

##### 4.8.1 Determinação da consistência

Como ponto de partida, adotaremos a consistência adequada para a aplicação desejada do concreto através do ensaio de abatimento do tronco descrito na NBR NM 67. A norma ACI 211.1-81 apresenta a tabela 4, onde se condiciona a consistência do concreto ao tipo de peça estrutural a ser concretada.

**Tabela 4 – Valores de abatimentos recomendados em função do tipo de obra**

Tipos de Obras	Abatimento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Paredes de fundação e sapatas armadas	75	25
Sapatas planas, caixões e paredes de infraestrutura	75	25
Vigas e paredes armadas	75	25
Pilares de edifícios	75	25
Pavimentos e lajes	75	25
Construções de concreto massa	75	25

**FONTE: Adaptado de ACI 211.1-81**

##### 4.8.2 Determinação das dimensões do agregado

Em função das peças estruturais, tamanho, distancias entre bitolas de ferro, determinamos, de acordo com os requisitos da NBR 6118 (ABNT,2007), as dimensões máximas dos agregados graúdos adequadas aos materiais disponíveis.

#### 4.8.3 Determinação da Quantidade de Água de Amassamento

A quantidade de água de amassamento é determinada em função do abatimento proposto e da dimensão máxima do agregado. A Tabela 5 apresenta a quantidade de água de amassamento aproximada para misturas realizadas com britas de granito, areias de rio não muito finas e consumo de cimento próximo aos 300kg/m<sup>3</sup> de concreto.

**Tabela 5 – Quantidade de Água de amassamento em função do abatimento e da dimensão máxima do agregado**

Abatimento (mm)	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220kg/m <sup>3</sup>	195kg/m <sup>3</sup>	190kg/m <sup>3</sup>	185kg/m <sup>3</sup>	180kg/m <sup>3</sup>
60 a 80	225kg/m <sup>3</sup>	200kg/m <sup>3</sup>	195kg/m <sup>3</sup>	190kg/m <sup>3</sup>	185kg/m <sup>3</sup>
80 a 100	230kg/m <sup>3</sup>	205kg/m <sup>3</sup>	200kg/m <sup>3</sup>	195kg/m <sup>3</sup>	190kg/m <sup>3</sup>

**FONTE: Adaptado de Rodrigues (1990 apud BOGGIO, 2000)**

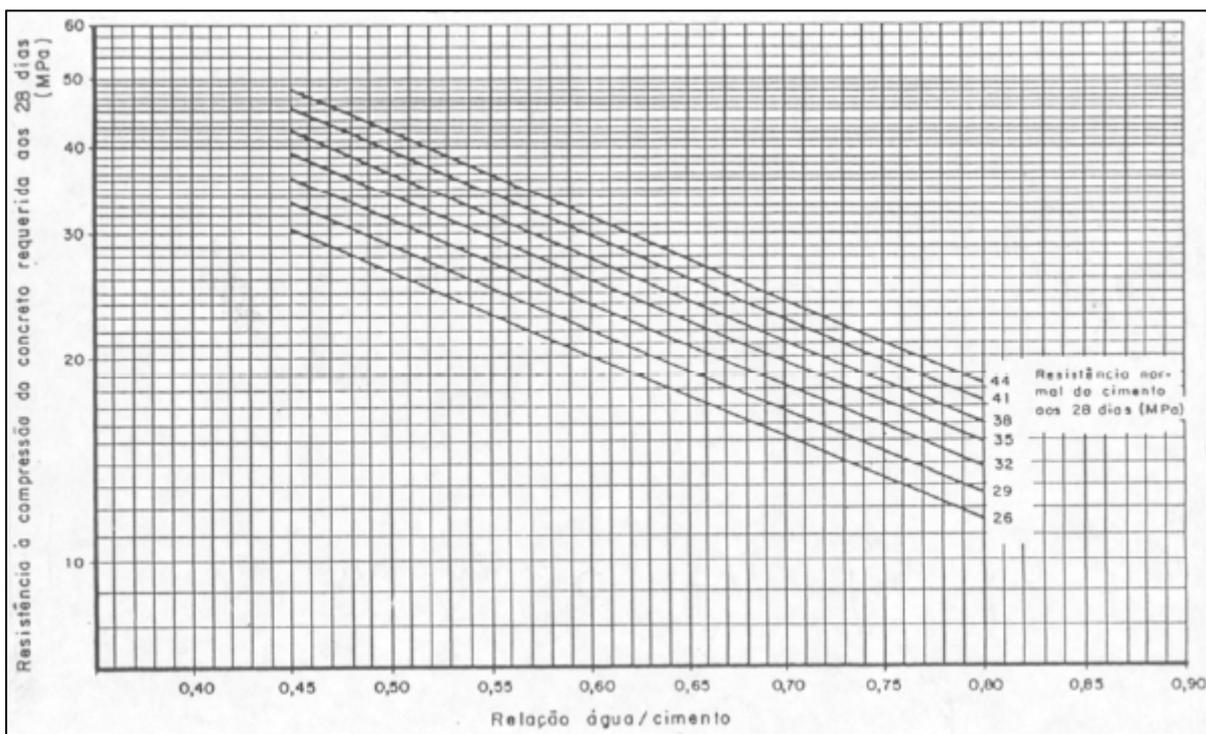
A quantidade de água de amassamento expressa na tabela são valores que devem ser adotados como iniciais e que podem ser ajustados caso necessário, conforme experiências anteriores.

#### 4.8.4 Determinação do fator Água/Cimento

O fator Água/Cimento ( $x$ ) é determinado em função das necessidades de resistência e trabalhabilidade, pois são afetados diretamente pelo fator água/cimento. Quando a necessidade de um concreto com maior resistência, menor é a quantidade de água adicionada, em contra partida, a trabalhabilidade fica precária com o escasso volume de água, assim procura-se sempre um fator água/cimento intermediário entre as propriedades.

É recomendado pelo método ABCP a utilização das curvas de Abrams, porém dificilmente se encontra as curvas de abrams, por ter ciência disso, o método,

recomenda o uso das curvas de Walz (Figura 4), desenvolvida no departamento de Cimento e Concreto (DECIM) da ABCP, apresentada a seguir:



**Figura 4 – Determinação do fator x em função da resistência do concreto os 28 dias.**  
**FONTE: (Bucher, 1989 apud BOGGIO, 2000)**

A equação 7 representa a curva do CP 32 aos 28 dia:

$$f_{d28} = \frac{92,8}{7,9^{a/c}} \quad (7)$$

Para a obtenção de uma boa durabilidade o método aconselha ainda a consideração do Comitê ACI 201 quando for feito a dosagem em áreas de risco (com grande exposição a umidade e à maresia).

#### 4.8.5. Determinação do consumo de cimento.

O fator determinante, para a quantia de cimento a ser usado, é o fator água/cimento usando a equação 8:

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (8)$$

onde:

- $C_c$  é o consumo de cimento;
- $C_a$  é o consumo de água; e
- $a/c$  é o fator água cimento (x).

O valor obtido pela forma representa a quantidade de cimento em quilogramas (kg) para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

#### 4.8.6 Determinação dos agregados.

Como já dito anteriormente o método procura sempre uma melhor trabalhabilidade tentando manter uma durabilidade aceitável, visando estas propriedades o método ABCP utiliza a tabela 6 que nos dá o Volume máximo de agregado graúdo compactado seco por m<sup>3</sup> de concreto ( $V_{cs}$ ), a partir do módulo de finura da areia e das dimensões máximas características do agregado graúdo.

**Tabela 6 – Determinação do volume de agregado seco**

Módulo de Finura da Areia Mf	Dimensão máxima característica do agregado graúdo - Dmax (mm)				
	9,5	19	25	32	38
	Volume compactado seco de agregado graúdo por m <sup>3</sup> de concreto ( $V_{cs}$ )				
1,8	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
2,0	0,625	0,75	0,775	0,80	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
3,0	0,535	0,65	0,675	0,70	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,6	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

**FONTE: RODRIGUES (1990, apud BOGGIO, 2000).**

Com o volume de agregados graúdos definidos, somos capazes de determinar o consumo de britas por quilograma para um m<sup>3</sup> de concreto, utilizando a equação 9:

$$C_b = V_{cs} \times \gamma_b \quad (9)$$

onde:

- $C_b$  é o consumo de agregado graúdo por  $m^3$  de concreto, em kg;
- $V_{cs}$  é o volume de agregado graúdo por  $m^3$  de concreto, em  $m^3$ ,
- $\gamma_b$  é a massa específica do agregado graúdo, em  $kg/m^3$ .

O volume do agregado miúdo é determinado considerando o concreto composto pela soma dos volumes do cimento, brita, areia e água. A partir destas considerações optem-se a equação 10:

$$V_a = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_w}{\gamma_w} \right) \quad (10)$$

onde:

- $V_a$  é o volume de agregado miúdo, em  $m^3$ ;
- $C_c$  é o consumo de cimento, em kg;
- $\gamma_c$  é a massa específica do cimento, em  $kg/m^3$ ;
- $C_b$  é o consumo de agregado graúdo, em kg;
- $\gamma_b$  é a massa específica do agregado graúdo, em  $kg/m^3$ ;
- $C_w$  é o consumo de água, em kg;
- $\gamma_w$  é a massa específica da água,

Posteriormente, com o auxílio da equação 11, determina-se o consumo do agregado miúdo:

$$C_a = V_a \times \gamma_a \quad (11)$$

onde:

- $C_a$  é o consumo de agregado miúdo, em kg;
- $V_a$  é o volume do agregado miúdo, em  $m^3$ ;

- $\gamma_a$  é a massa específica do agregado miúdo, em kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.8.7 Apresentação do traço.

A apresentação do traço em massa é feita em função das relações dos materiais utilizados na produção do concreto em relação ao consumo de cimento, conforme a equação 12:

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_w}{C_c} \quad (12)$$

Resolvendo a equação chegamos a apresentação usual do traço **c:a:b:w** (cimento, areia, brita, água).

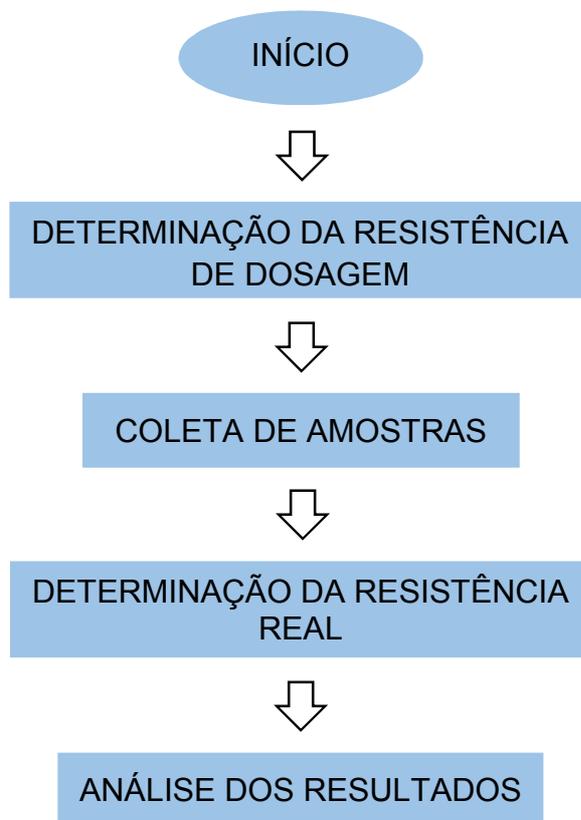
## 5 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada de maneira experimental, uma vez que foram feitas análises em laboratório da resistência à compressão de corpos de prova de concreto confeccionados *in loco* na cidade de Campo Mourão – PR.

O objeto de estudo está localizado no centro da cidade de Campo Mourão – PR, iniciou-se no segundo semestre do ano de 2013 e tem como previsão de término no segundo semestre de 2018.

A execução da obra é realizada por sete operários, incluindo o mestre de obra, o carpinteiro, os pedreiros e ajudantes de pedreiro. Para a amarração da ferragem e outros tipos de serviços especializados a mão de obra é terceirizada. O edifício contara com sete pavimentos, sendo o primeiro pavimento de salas comerciais e estacionamento, o segundo apenas para estacionamento e os pavimentos subsequentes serão residenciais contando com quatro apartamento por andar, totalizando vinte apartamentos. Os pilares são feitos em uma determinada sequência que o consumo é constante e pequeno, durante este período e o fornecedor de concreto da cidade não atende ao consumo assim optou-se pela concretização dos pilares com o concreto confeccionado *in loco*, possibilitando a realização da nossa pesquisa na obra.

Os estudos realizados para esta pesquisa estão apresentados, e posteriormente descritos, no fluxograma a seguir:



**Figura 5 – Fluxograma da metodologia realizada**

## 5.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE DOSAGEM

Para a determinação da resistência de dosagem, fez-se necessário a elaboração do traço específico já usado no canteiro de obras.

Com os ensaios da norma NBR 9776 e NBR 7217 de determinação de massa específica real e úmida dos agregados, junto ao volume das padiolas, foi encontrado o consumo de cada componente do concreto produzido segundo o método ABCP/ACI e apresentado um traço. Para a determinação da umidade da areia, foi usado o “método da frigideira”, que consiste em coletar uma amostra de areia, pesar e deixar no fogo até que a areia esteja seca e então pesa-la novamente, com a diferença de peso encontra-se a umidade do agregado miúdo.

Com a umidade do agregado miúdo e o traço utilizado, com o auxílio da curva de Walls (Figura 4), foi calculado a resistência de dosagem de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 1996).

## 5.2 COLETA DE AMOSTRAS

Foram feitas três coletas, totalizando 34 exemplares em diferentes dias com diferentes números de corpos de prova. Junto às coletas, foram feitos os ensaios de abatimento tronco de cone (figura 6), seguindo as recomendações da norma NBR NM 67 (ABNT, 1998).



**Figura 6 – Teste de slump realizado in loco**

Todas as coletas feitas foram acompanhadas, porém sem a intervenção dos pesquisadores, a fim de averiguar o trabalho realizado medindo sua qualidade sem nenhuma omissão da real confecção do mesmo *in loco*.

As coletas foram realizadas seguindo a norma NBR 5738 (ABNT, 1994). Após as 24 horas necessárias de repouso para o transporte dos corpos de prova, os mesmos foram levados para o laboratório localizado na UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – para serem submetidos à cura submersa em água por 28 dias de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 1994).

### 5.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA REAL

Para a obtenção dos valores reais da resistência do concreto produzido *in loco*, os corpos de prova foram rompidos na máquina de rompimento (EMIC – Modelo PCE100C) localizada no laboratório UTFPR seguindo as recomendações da norma NBR 5739 (ABNT, 1994).



Figura 7 – Máquina de rompimento EMIC PCE100C

A prensa, conectada a um computador, oferece de imediato os valores de tensões suportados pelos corpos de prova e seus gráficos de elasticidade até o momento do rompimento.

#### 5.4 FERRAMENTA CONTROLE ESTATISTICO DO PROCESSO - CEP

Para a análise dos resultados, contamos com o auxílio da ferramenta CEP, onde com ela são desconsiderados alguns resultados cujo discrepância excede ao aceitável. A ferramenta nos indica limites superiores e inferiores de aceitação provenientes de valores estatísticos dos resultados obtidos.

Foram feitas três análises qualitativas do concreto produzido *in loco*. Como primeira análise encontrou-se a média dos valores de rompimento dos corpos de prova comparando-a com o valor da resistência de dosagem do concreto aos 28 dias, caso o valor médio encontrado for superior à resistência de dosagem aos 28 dias o concreto é considerado sob controle, caso contrário ele deve ser rejeitado.

A segunda análise verificou o coeficiente de variação dos valores de rompimento das amostras em relação a resistência de dosagem do concreto aos 28 dias, procurando identificar o quão distante do (resultado) valor esperado foram os valores obtidos.

A terceira análise, embasou-se na norma NBR 12655 (ABNT,2006) que recomenda o uso da equação 13 quando se tem um controle estatístico do concreto por amostragem parcial com o número de amostras superior a 20 exemplares.

$$f_{ck\ est} = f_{cm} - 1,65S_d \quad (13)$$

Onde:

- $f_{ck\ est}$  é o valor de resistência estimado;
- $f_{cm}$  é o valor médio das resistências obtidas pelo rompimento dos corpos de prova;
- $S_d$  é o desvio padrão dos valores obtidos das amostras.

A aceitação ou rejeição do concreto, recomendada pela norma, é feita comparando o valor da resistência estimada ( $f_{ck\ est}$ ) com o valor de resistência característica ( $f_{ck}$ ), quando o valor de resistência estimada ( $f_{ck\ est}$ ) – valor obtido a partir do rompimento dos corpos de prova - é superior ao valor da resistência característica ( $f_{ck}$ ) – valor obtido a partir da dosagem - o concreto é considerado sob controle. Quando o valor de resistência estimada é inferior a resistência característica esperada do concreto, a recomendação é de rejeição alegando a não conformidade do concreto.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 RESISTÊNCIA DE DOSAGEM

A resistência de dosagem, assim como dito anteriormente, é influenciada diretamente pela perícia do profissional que executa a dosagem e pela qualidade dos materiais, a tabela a seguir apresenta os dados relacionados ao preparo do concreto *in loco*.

**Tabela 7 – Características da obra estudada**

<b>CARACTERÍSTICAS DA OBRA</b>	
Identificação da Obra	TR
Finalidade da Obra	Residencial/Comercial
Datas da coleta	28/01/2014 – 07/02/2014 – 11/02/2014
Cimento	CP II Z 32
Função estrutural	Pilar
Tipo de dosagem	Ruim
Equipamento de mistura	Betoneira
Equipamento de dosagem	Padiola
Existência de Projeto Estrutural	Sim

A dosagem executada não segue um padrão, como também não foi executada pelo mesmo operário ao decorrer do estudo. O equipamento de dosagem da obra é a padiola (duas para as britas e duas para a areia). A tabela 8 nos mostra as dimensões das padiolas e os dados utilizados para a obtenção do traço.

**Tabela 8 – Dados adquiridos para a obtenção do traço utilizado in loco**

<b>DADOS PARA CALCULO DE TRAÇO</b>		
Descrição	Unidade	Quant.
Padiola de Brita	cm <sup>3</sup>	50400
Padiola de Areia	cm <sup>3</sup>	45675
Massa especifica Brita	g/cm <sup>3</sup>	1,497
Massa especifica Areia	g/cm <sup>3</sup>	1,615
Consumo de Água	Kg/saco	34
Consumo de Brita	Kg/saco	150,897
Consumo de Areia	Kg/saco	147,53
Consumo de Concreto	Kg/saco	50

Com o consumo dos materiais, é possível apresentar o traço em massa utilizado *in loco* com o uso da Equação 12 do método ABCP/ACI, sendo este 1:2,95:3,02:0,68

Por fim, com o auxílio da equação 7 executa-se os cálculos encontrando portanto, a resistência a compressão do concreto com o tempo de cura de vinte e oito (28) dias, ou seja,  $f_{d28}=22,76$  Mpa.

Com a resistência do concreto após o tempo de cura estabelecido e o uso da equação 1 com um desvio padrão de valor 4,0 definido pelas condições de preparo, é obtido a resistência característica do concreto produzido:

$$f_{ck}=16,16 \text{ Mpa}$$

## 6.2 RESISTÊNCIA AXIAL A COMPRESSÃO DO CONCRETO PRODUZIDO *IN LOCO*.

Conforme descrito no item 5.2 e 5.3 foram coletados trinta e quatro (34) corpos de prova seguindo as recomendações da norma brasileira, e transportados para a universidade onde foram rompidos pela prensa IMEC (Modelo PCE100C).

A tabela 9 apresenta a identificação dos corpos de prova e suas respectivas resistências, *slump* e consistências.

**Tabela 9 - Resistência à compressão, slump e consistência dos exemplares**

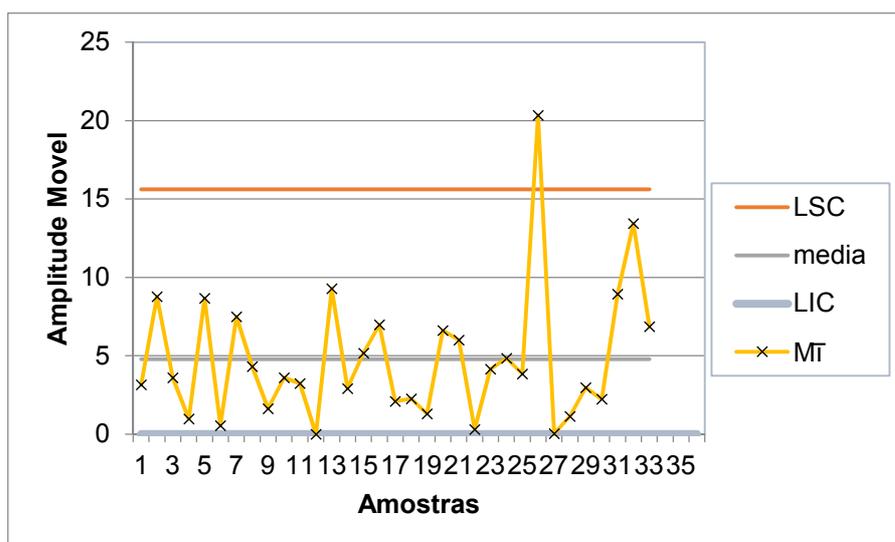
Resistencia a compressão axial do concreto produzido <i>in loco</i>			
Exemplares	Slump (mm)	Consistência	Fck (Mpa)
CP 1	110	Média	25,00
CP 2	110	Média	28,16
CP 3	150	Mole	19,39
CP 4	130	Mole	22,99
CP 5	120	Média	22,01
CP 6	60	Sólida	30,68
CP 7	90	Sólida	30,14
CP 8	130	Mole	22,64
CP 9	110	Média	26,96
CP 10	120	Média	25,33
CP 11	110	Média	28,94
CP 12	110	Média	25,71
CP 13	110	Média	25,71
CP 14	190	Fluida	16,42
CP 15	165	Fluida	19,33
CP 16	190	Fluida	14,15
CP 17	165	Fluida	21,13
CP 18	150	Mole	19,04
CP 19	190	Fluida	16,79
CP 20	165	Fluida	15,50
CP 21	145	Mole	22,11
CP 22	165	Fluida	16,11
CP 23	190	Fluida	15,81
CP 24	130	Mole	19,97
CP 25	155	Fluida	15,13
CP 26	190	Fluida	11,29
CP 27	60	Sólida	31,64
CP 28	60	Sólida	31,60
CP 29	90	Sólida	30,47
CP 30	130	Mole	27,49
CP 31	60	Sólida	29,73
CP 32	110	Média	20,79
CP 33	40	Sólida	34,22
CP 34	90	Sólida	27,35

Analisando os dados é notável que quanto maior o valor do abatimento do tronco de cone (*slump*) menor é a resistência do concreto a compressão axial. Isso ocorre pois o teste de *slump* é feito para medir a trabalhabilidade sendo está proporcional a quantidade de água consumida no preparo, que por sua vez é inversamente proporcional a resistência do concreto segundo o método ABCP/ACI (fator água/cimento).

### 6.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

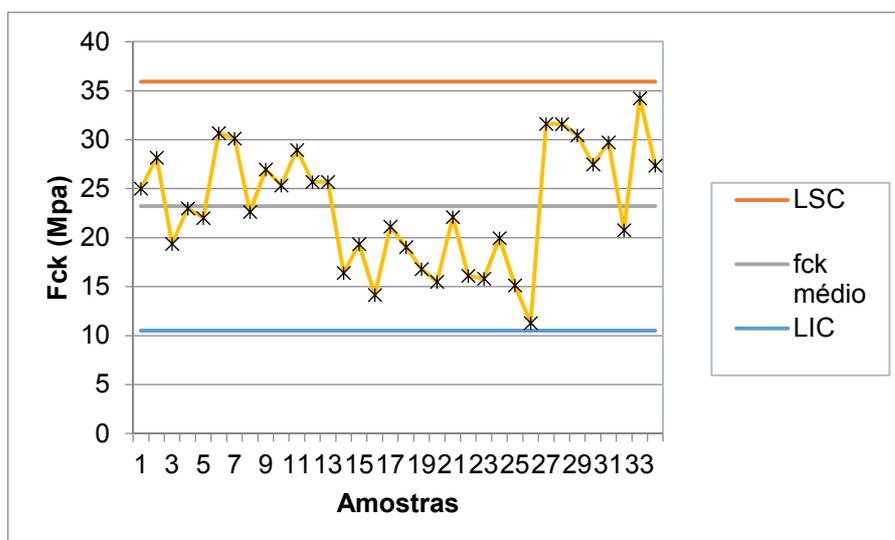
A utilização da ferramenta de controle estatístico do processo nos valores obtidos do rompimento dos corpos de prova, tem o intuito de proporcionar maior confiabilidade dos resultados. Com este propósito, buscou-se analisar os valores situados fora dos limites dos gráficos identificando possíveis causas para tal divergência.

Com o uso dos gráficos de controle é possível analisar a discrepância entre os valores obtidos. A figura 8 apresenta o gráfico da amplitude móvel para todos os valores obtidos dos rompimentos dos corpos de prova.



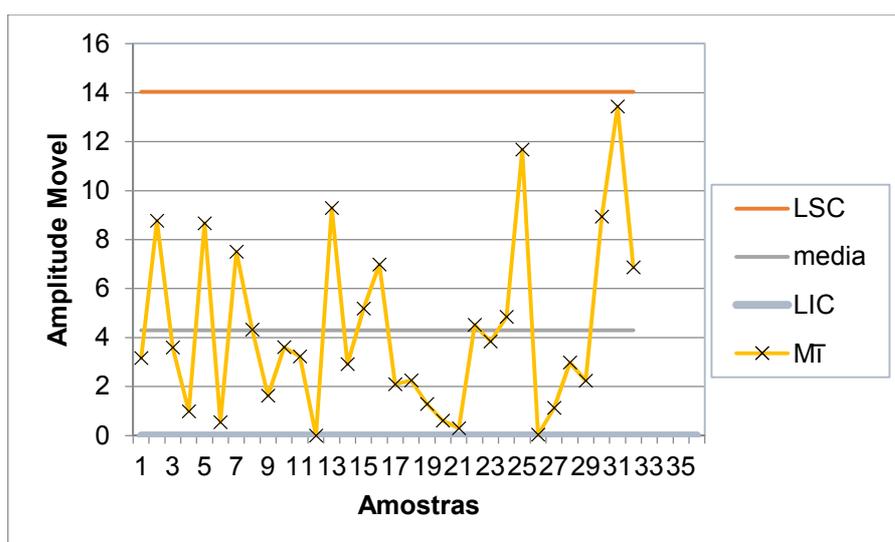
**Figura 8 – Amplitude móvel da resistência à compressão dos exemplares**

Diante da análise do exposto verificou-se a ampla variância entre os valores, como também a presença de um ponto fora dos limites estabelecidos pela ferramenta. Por consequência, este ponto em questão não é um dado seguro. Desta maneira, é necessário analisar o gráfico de valores médios para garantir que não há outros pontos fora dos limites. A figura 9 apresenta o gráfico dos valores médios referente aos valores de resistência a compressão do concreto.



**Figura 9 – Média das resistências à compressão dos exemplares**

Como resultado do estudo dos dois gráficos foi obtido apenas um valor fora dos limites aceitáveis. Diante disso, o dado encontrado foi avaliado e eliminado, a causa pode ser atribuída tanto a má retificação dos corpos de prova, quanto ao excesso de água utilizada, uma vez que apresentou baixa resistência e alta amplitude móvel. Deste modo, foi necessário a repetição do processo, pois novos gráficos são formados ao excluir um valor não seguro. A figura 10 apresenta o novo gráfico de amplitude móvel.



**Figura 10 – Amplitude móvel da resistência à compressão dos exemplares**

Após a eliminação do dado incorreto e a construção de um novo gráfico constata que apesar de continuar apresentando grande variância entre os valores, não há nenhum ponto fora dos limites estabelecidos, ou seja o processo esta entre o limite superior e inferior, com isso sob controle. Além disso, também existe a necessidade de analisar o novo gráfico de valores médios com os valores aceitáveis restantes. A figura 11 apresenta o novo gráfico dos valores médios.

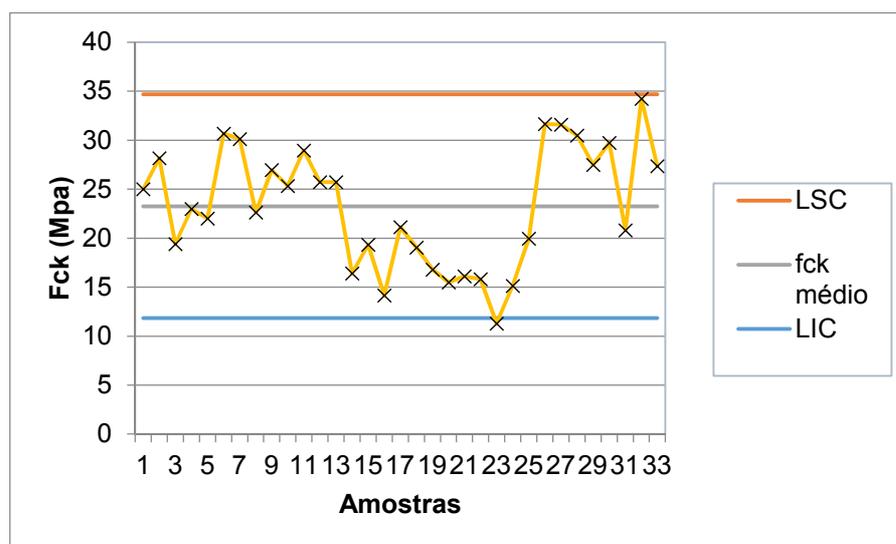
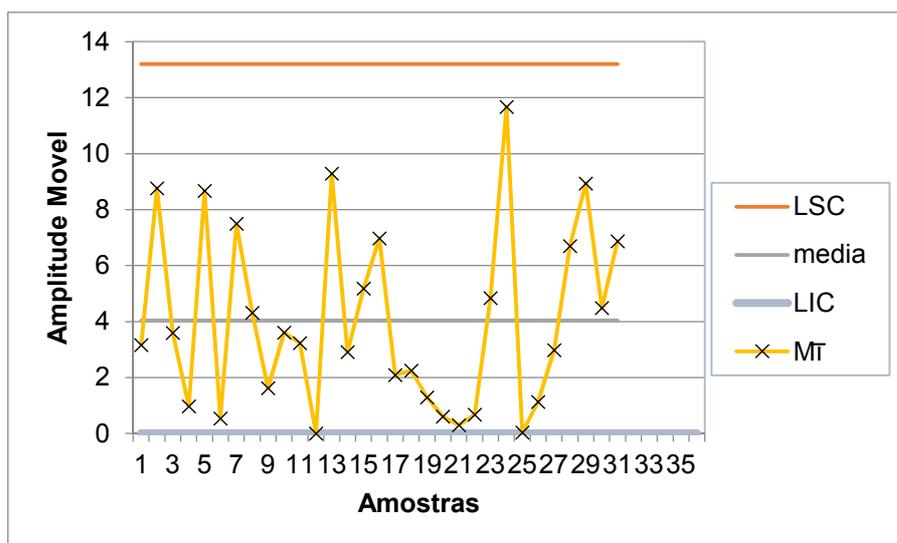


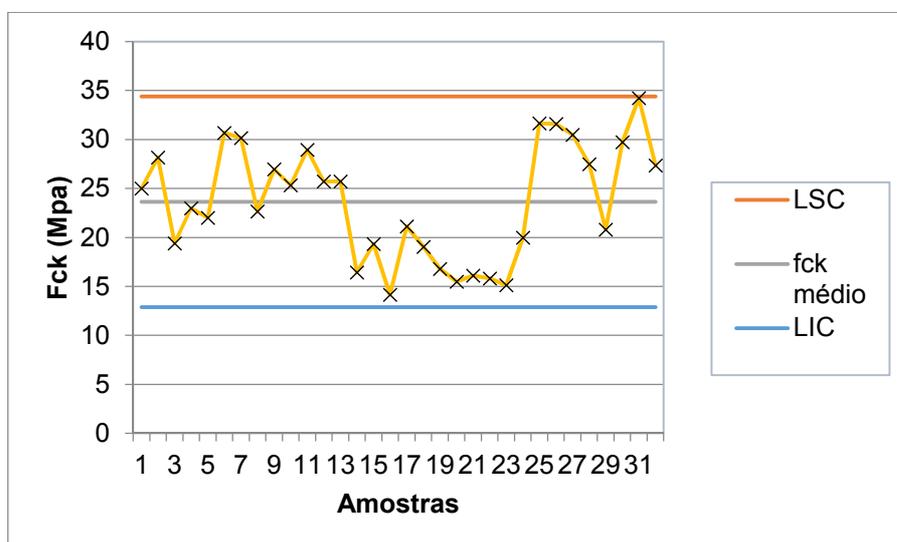
Figura 11 – Média das resistências à compressão dos exemplares

Fazendo a análise do exposto verificou-se a existência de um ponto fora dos limites estabelecidos, sendo assim foi necessário avalia-lo, verificando que a causa foi o consumo maior de massa de água relativo ao consumo estabelecido no traço. Mais uma vez, o ponto fora dos limites foi excluído e em seguida, a ferramenta foi aplicada. A figura 12 mostra o novo gráfico de amplitude móvel.



**Figura 12 – Amplitude móvel da resistência à compressão dos exemplares**

Apesar de o novo gráfico continuar apresentando grandes variações entre os valores, não há mais pontos fora dos limites estabelecidos. O novo gráfico de valores médios é apresentado na figura 13.



**Figura 13 - Média das resistências à compressão dos exemplares**

Visto que novos gráficos foram feitos e todos os pontos agora estão dentro dos limites estabelecidos, constatou-se que os resultados estão mais uniformes, desta forma os valores podem ser usados com segurança para a identificação das condições de resistência do concreto.

Seguindo as recomendações de Fonseca e Martins (2006, apud TREVISOL, 2011), foi calculado a resistência média, o desvio padrão e o coeficiente de variação para classificar os resultados em função de sua dispersão, onde:

- Dispersão baixa: coeficiente de variação  $\leq 15\%$
- Dispersão média:  $15 < \text{coeficiente de variação} < 30\%$
- Dispersão alta: coeficiente de variação  $\geq 30\%$

Os resultados são descritos na tabela 10:

**Tabela 10 – Resultados estatísticos finais do rompimento dos exemplares**

Resistência Média (Mpa)	Desvio Padrão (Mpa)	Coeficiente de Variação (%)
23,64	5,83	24,67

Por consequência dos resultados apresentados na tabela é obtido, como conclusão, a existência de uma dispersão média dos valores gerados.

#### 6.4 ANÁLISE FINAL DA QUALIDADE DO CONCRETO PRODUZIDO *IN LOCO*.

Foi determinado, após o uso da ferramenta CEP, um número aceitável de trinta e duas (32) amostras coletadas de concreto com suas respectivas resistências. Como primeira forma de análise, comparou-se a resistência a compressão teórica aos 28 dias com a média das resistências do concreto *in loco*, desta maneira obteve um ótimo resultado, uma vez que o valor médio das resistências tenha superado o valor de resistência teórico.

Uma segunda análise realizada foi entre os valores de resistência *in loco* individualmente e a resistência teórica calculada. Os dados de comparação obtidos são apresentados na tabela 11.

**Tabela 11 – Coeficiente de variação dos resultados obtidos em função da resistência teórica**

Resistência dos Corpos de Prova (Mpa)	Resistência Teórica aos 28 dias (Mpa)	Coeficiente de Variação (%)
25,00	22,76	6,63
28,16	22,76	15,00
19,39	22,76	11,31
22,99	22,76	0,71
22,01	22,76	2,37
30,68	22,76	20,96
30,14	22,76	19,73
22,64	22,76	0,37
26,96	22,76	11,95
25,33	22,76	7,56
28,94	22,76	16,90
25,71	22,76	8,61
25,71	22,76	8,61
16,42	22,76	22,88
19,33	22,76	11,52
14,15	22,76	32,99
21,13	22,76	5,25
19,04	22,76	12,59
16,79	22,76	21,35
15,50	22,76	26,84
16,11	22,76	24,19
15,81	22,76	25,48
15,13	22,76	28,48
19,97	22,76	9,23
31,64	22,76	23,08
31,60	22,76	23,00
30,47	22,76	20,48
27,49	22,76	13,31
20,79	22,76	6,40
29,73	22,76	18,78
34,22	22,76	28,44
27,35	22,76	12,95

A análise individual dos valores obtidos a partir do rompimento dos corpos de prova com o valor de resistência teórica a partir do traço usado *in loco* revela um quadro preocupante em relação a qualidade do concreto produzido.

Com os valores dos coeficientes de variação (entre o valor obtido no rompimento e o valor obtido a partir do traço) entre 0,37% e 32,99%, pode-se afirmar uma má qualidade na produção do concreto. Tal discrepância se dá pela falta de

acompanhamento e fiscalização na produção do concreto, deixando que ocorra divergências no traço de dosagem.

A qualidade do concreto confeccionado *in loco* é questionável, uma vez que quinze (15) dos trinta e dois (32) exemplares apresentam valores inferiores ao valor esperado pelo traço utilizado *in loco*.

Como terceira e mais importante análise, utilizou-se o controle estatístico do concreto por amostragem parcial, onde foi usada a equação 13 recomendada por pela norma NBR 12655 para lotes com número superior a 20 exemplares.

Com a utilização da equação 13 foi alcançado o valor de  $f_{ck\ est}$  de 13,14 Mpa. Por este valor ser inferior a resistência teórica  $f_{ck}$  (16,16 Mpa) a norma recomenda que ocorra a rejeição do concreto, significando a má qualidade do concreto produzido *in loco* na obra em estudo da cidade de Campo Mourão – PR.

## 7 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada neste estudo teve como objetivo verificar as condições de qualidade do concreto produzido *in loco* comparando sua resistência real com a resistência de dosagem na cidade de Campo Mourão – PR.

A fim de se trabalhar com dados concretos e assim assegurar um estudo com mais uniformidade e segurança foi utilizada a ferramenta estatística de controle de processo para amplitude móvel e média. A ferramenta se mostrou eficaz e de fundamental importância, uma vez que, apontou nas amostras dados que possuíam grande discrepância, possibilitando a atribuição de causas externas.

Os resultados demonstraram que o treinamento dos operários da construção é precário, tendo grande variação no decorrer da produção do concreto. Conclui também a necessidade de uma melhor fiscalização quanto a qualidade do concreto quando produzido *in loco*.

A resistência de dosagem (teórica) utilizada na obra remete ao valor especificado no projeto estrutural, uma vez que seu valor ( $f_{d28}=22,75$  Mpa) é superior ao valor previsto no projeto (20 Mpa). Concluindo assim a eficiência do traço utilizado *in loco* para atender as necessidades assim como o esperado por norma.

O valor elevado de desvio padrão (5,83) e do coeficiente de variabilidade (24,67%) das resistências encontradas no rompimento dos corpos de prova indica uma não homogeneidade na produção do concreto, fazendo assim que seja recomendado aumentar o valor de  $f_{cm}$  (valor médio das resistências obtidas pelo rompimento dos corpos de prova) para o não comprometimento da resistência característica ( $f_{ck}$ ) de projeto (TUTIKAIAN e HELENE, 2011).

A média dos valores do rompimento dos corpos de prova ( $f_{cm}=23,64$  Mpa) encontrada é a esperada para o traço, e principalmente para o fator água/cimento, utilizado, uma vez que autores como Scheffler (2011) encontraram valores próximos de média do rompimento ( $f_{cm}=21,81$  Mpa) para um traço semelhante (1:2,68:2,62:0,67). Porém, por apresentar um desvio padrão maior do que o esperado os resultados de resistência característica estimada ( $f_{ck\ est}$ ) foram abaixo do valor recomendado por norma ocasionando a não conformidade do concreto produzido na obra.

A má qualidade do concreto torna o quadro preocupante, porém não significa a total ruína da estrutura. Existem medidas a serem tomadas para que se tenha uma melhor verificação em relação à eficiência da peça confeccionada com o concreto. Antes de qualquer ação a ser feita, deve-se verificar o projeto estrutural, revisando-o com o valor obtido de resistência característica estimada ( $f_{ck\ est}$ ). Permanecendo a insegurança estrutural se faz necessário a avaliação dos estados limites últimos e de serviço das peças confeccionadas.

A fim de verificar o atendimento dos estados limites últimos e de serviço das peças estruturais construídas com esse lote deverá ser feita a inspeção por extração de testemunhos de acordo com a NBR 7680 (ABNT,2007), e estimar um novo  $f_{ck}$  equivalente de acordo com a NBR 12655 (ABNT,2006). Não há motivos para a extração de mais de um testemunho de um mesmo local, uma vez que os eventuais defeitos do mesmo seja visível, porém quando houver dúvidas, sempre será possível extrair um novo testemunho nas imediações daquele sob suspeita.

No caso de pilares, assim como feito na presente pesquisa, quando houver a necessidade da extração de mais de um testemunho, o mesmo deverá estar no mesmo prumo do primeiro, para que não ocorra a redução exagerada da seção da peça.

Em posse do novo valor de resistência estimada ( $f_{ck\ est}$ ) devem ser adotados coeficientes de correção dispostos na norma NBR 6118 (ABNT,2007), a fim de conduzir o testemunho a uma resistência equivalente à de um corpo de prova moldado e rompido aos 28 dias em condições normalizadas.

Permanecendo a não conformidade, pode-se optar tanto por determinar as restrições de uso da estrutura, quanto por providenciar o projeto de reforço ou até mesmo ser tomada a decisão de demolição parcial ou total da estrutura.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2009
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1994
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**: 5ª ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- BOGGIO, Aldo J. **Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concretos de Cimento Portland**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/12575>>. Acesso em 17/01/2014.
- FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural – Tópicos Aplicados**: 1ª ed. São Paulo: PINI, 2008.
- GUIMARÃES, C. O. **Avaliação do Uso da Água Magnetizada na Produção de Concretos em Centrais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-726HM4> >. Acesso em 02/02/014.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 2001.
- LODI, Vitor Hugo. **Viabilidade Técnica e Econômica do Uso de Areia de Britagem em Concretos de Cimento Portland na Região de Chapecó - SC**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/88571> > Acesso em 17/01/2014
- MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008
- Método Ultra-sônico: Estudo da Correlação e Fatores Influentes**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiás. 2005
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1997.

PETRUCCI, G. R. P. **Concreto de Cimento Portland**. 14ª ed. São Paulo: Globo, 2005.

PRISZKULNIK, S. **Aspectos reológicos do cimento fresco e sua dosagem: Método ACI e ITERS**. In: COLÓQUIO DE DOSAGEM DE CIMENTO, maio de 1977, São Paulo. São Paulo: IBRACON, 1977.

SANTIAGO, W. C. **Estudo da (Não-)Conformidade de Concretos Produzidos no Brasil e sua Influência na Confiabilidade Estrutural**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SCHEFFLER, Michael James. **Estudo sobre a variabilidade da resistência à compressão axial entre o concreto produzido in loco e em laboratório em Sinop – MT**. 2011. Trabalho de conclusão de curso. Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, 2011. Disponível em: <  
[http://sinop.unemat.br/site/monografia/fot\\_292tcc\\_2011\\_2\\_michael\\_james\\_scheffleu\\_pdf.pdf](http://sinop.unemat.br/site/monografia/fot_292tcc_2011_2_michael_james_scheffleu_pdf.pdf) > Acesso em 18/12/2013.

SOBRAL, H. S. **Estudo técnico: propriedades do concreto endurecido**. 5ª rev. São Paulo: ABCP, 2000.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. 2011. Revista IBRACON, 2011. Disponível em: <  
<http://www.concretophd.com.br/imgs/files/dosagemcap12concreto2011.pdf> > Acesso em 16/06/2014.