

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JANAÍNA SANTOS SALDANHA MARQUES

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO PROCESSO PRODUTIVO DE  
CONCRETO DE UMA EMPRESA DE PRÉ-MOLDADOS NA  
CIDADE DE PATO BRANCO-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

JANAÍNA SANTOS SALDANHA MARQUES

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO PROCESSO PRODUTIVO DE  
CONCRETO DE UMA EMPRESA DE PRÉ-MOLDADOS NA  
CIDADE DE PATO BRANCO-PR**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como requisito parcial para a  
conclusão do curso de Engenharia Civil da  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná – *Câmpus* Pato Branco.  
Orientador: Prof. Dr. Mario Arlindo Paz  
Irrigaray

PATO BRANCO

2016



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### ANÁLISE DA QUALIDADE DO PROCESSO PRODUTIVO DE CONCRETO DE UMA EMPRESA DE PRÉ-MOLDADOS NA CIDADE DE PATO BRANCO – PR

**JANAÍNA SANTOS SALDANHA MARQUES**

No dia 22 de novembro de 2016, às 08h15min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº25-TCC/2016.

Orientador: Prof. Dr. MÁRIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. NORMELIO VITOR FRACARO (DACOC/UTFPR-PB)

## RESUMO

Sabe-se que o concreto é um dos materiais mais amplamente empregado na construção civil. Dessa forma, para que o mesmo atenda aos requisitos de qualidade tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, faz-se necessário que sejam adotados procedimentos que garantam a uniformidade dos materiais e dos processos. Além disso, os elementos estruturais são dimensionados levando em consideração as características dos materiais, isto é, a resistência à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ), a resistência à tração do aço ( $f_{yk}$ ) e a combinação das ações mais desfavoráveis. Existem normas que os materiais constituintes do concreto e o próprio concreto devem atender, dentre elas destacam-se a norma ABNT NBR 12655 (2006) que trata do preparo, controle e recebimento do concreto de cimento portland. Considerando a necessidade que a indústria de pré-moldado e pré-fabricado deve atender as referidas normas, esse trabalho teve como objetivo principal determinar a qualidade do processo produtivo de uma dessas empresas, a qual está localizada no município de Pato Branco – PR. Para tanto, adotou-se tanto a análise quantitativa quanto análise qualitativa. A etapa de análise quantitativa foi executada determinando os valores de resistência à compressão nas idades de 1 (um) dia, 5 (cinco) dias e 28 (vinte e oito) dias e determinação do módulo de elasticidade na idade de 28 (vinte e oito) dias. A etapa da análise qualitativa foi realizada através da construção de carta de valores individuais demonstrando os valores da resistência à compressão das amostras de concreto fornecida pela empresa voluntária. Com os resultados adquiridos foi possível responder se o  $f_{ck}$  do concreto produzido atendia ao requisito de  $f_{ck}$  do projeto estrutural. Por meio da análise dos resultados obtidos e dos procedimentos adotados pela empresa, foi possível sugerir mudanças nos procedimentos de produção do concreto e nos procedimentos de dosagem do concreto. Dentre as possíveis contribuições propõem-se a utilização de um novo traço para o concreto a ser determinado pelo método de dosagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), melhorar o controle dos materiais e implementar cuidados durante o processo de cura do concreto.

**Palavras-chave:** Concreto. Pré-moldados. Controle. Qualidade. Resistência à Compressão.

## ABSTRACT

It is known that concrete is one of the most employed materials on constructions. However, in order to attain the quality requirements both in the fresh and hardened state, it's necessary to adopt procedures that guarantee the consistence of materials and processes. Besides, the structural elements are dimensioned based on the material's characteristics, in other words, the concrete's compressive strength ( $f_{ck}$ ), steel's tensile strength ( $f_{yk}$ ) and the combination of the most unfavourable actions. There are standards that the component materials of the concrete and the concrete itself have to reach, among them the ABNT NBR 12655 (2006) which deals with the preparation, control and receipt of the cement concrete portlant. Considering the need for the precast industry to meet the referred standards, this work's main objective to determine the quality of the productive process of one of those companies, located in Pato Branco – PR. For that, the quantitative and qualitative analyses were used. The stage of quantitative analysis was done by determining the values of compressive strength at the age of 1 (one) day, 5 (five) days and 28 (twenty eight) days and by measuring the elastic modulus at the age of 28 (twenty eight) days. The stage of qualitative analysis was done through the formulation of an individual values' graph showing the compressive strength of the concrete's sample given by the volunteering company. With the results obtained it was possible to answer if the  $f_{ck}$  of the concrete produced met the  $f_{ck}$  requirement of the structural design. Through the analysis of the results the procedures used by the company, it was possible to suggest changes in production procedures of the concrete and dosage procedures of the concrete. Among the possible contributions it's proposed the use of a new proportion of ingredients for the concrete, to be determined by the method of dosing from the Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), improve material control, and implament care during the concrete curing process.

**Key words:** Concrete. Precast. Control. Quality. Compressive. Strength.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condição de preparo .....	36
Tabela 2: Relação entre número de exemplares com o $X^2$ .....	37
Tabela 3: Relação entre o número de exemplares e os Limites inferior e superior .....	38
Tabela 4: Classes de agressividade ambiental.....	39
Tabela 5: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto .....	39
Tabela 6: Valores para formação de lotes .....	40
Tabela 7: Valores de $\psi_6$ .....	41
Tabela 8: Coeficiente $d_2$ .....	43
Tabela 9: Coeficiente de variação (CVe) .....	43
Tabela 10: Classes de consistência .....	46
Tabela 11: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova .....	46
Tabela 12: Tolerância para idade de ensaio .....	48
Tabela 13: Fator de correção.....	48
Tabela 14: Resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 1 dia em MPa .....	51
Tabela 15: Resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 5 dias .....	52
Tabela 16: Resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 28 dias .....	52
Tabela 17: Teor de umidade dos agregados .....	62
Tabela 18: Resistência à compressão de dosagem, relação água/cimento em diferentes idades .....	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Interação da série de abordagem do método científico .....	32
Figura 2: Etapas da pesquisa .....	44
Figura 3: Carta dos valores de resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 1 dia .....	55
Figura 4: Carta dos valores de resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 5 dias .....	56
Figura 5: Carta dos valores de resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 28 dias .....	57
Figura 6: Evolução dos valores de resistência à compressão dos exemplares de acordo com a idade .....	58
Figura 7: Traço usado na empresa voluntária .....	59
Figura 8: Abrigo destinados aos agregados .....	60
Figura 9: Silo de deposição dos agregados .....	60
Figura 10: Agregado miúdo (Areia natural) .....	61
Figura 11: Agregado miúdo (Areia de britagem) .....	61
Figura 12: Cimento Portland V-ARI (Itambé) .....	62
Figura 13: Cimento Portland II – Z – 32 (Votoran) .....	63
Figura 14: Concreto produzido pela empresa .....	64
Figura 15: Concreto produzido pela empresa .....	64
Figura 16: Elemento pré-moldado no estado fresco .....	65
Figura 17: Elemento pré-moldado no estado endurecido .....	65
Figura 18: Estoque de elementos pré-moldados .....	65
Figura 19: Gráfico da resistência à compressão e relação água/cimento para cada idade .....	68

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas  
IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
ACI American Concrete Institute  
ASTM American Society for Testing and Materials  
IBRACON Instituto Brasileiro de Concreto  
ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland  
NBR Norma Brasileira Registrada no INMETRO  
NM Norma Mercosul  
INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia  
CA Concreto armado  
CP Concreto protendido  
CAD Concreto de alto desempenho  
CAA Concreto autoadensável  
HSC High Strength Concrete  
HPC High-Performance Concrete  
SCC Self-Compacting Concrete  
CP I Cimento Portland comum  
CP II Cimento Portland composto  
CP III Cimento Portland de Alto Forno  
CP IV Cimento Portland Pozolânico  
CP V – ARI Cimento Portland de Alta Resistência Inicial  
CP RS Cimento Portland Resistente à Sulfatos  
PDCA Plan Do Check Action tradução Planejar Fazer Verificar Agir  
UTFPR Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
PR Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $f_c$  – resistência característica à compressão
- $f_{ck}$  - resistência característica à compressão
- $f_{cm}$  - resistência característica média à compressão
- $f_{cm,j}$  - resistência característica média à compressão na idade de j dias
- $f_{ck,est}$  - valor estimado da resistência característica à compressão
- $F$  - força
- $D$  - diâmetro
- $S_d, S_e$  - desvio padrão
- $n$  - número de exemplares
- $m$  - número de exemplares divididos por 2
- $f_1, f_2, \dots, f_m$  - valores de resistência à compressão dos exemplares de concreto em ordem crescente
- $\psi_\phi$  - constante de majoração
- $A_i$  - amplitude
- $h$  - horas
- $g$  - grama
- $l$  - litros
- $kg$  – quilograma
- $m$  - metro
- $cm$  - centímetro
- $mm$  - milímetro
- $MPa$  - mega pascal
- $N$  - Newton
- $\rho$  - massa específica
- $s$  - segundos
- $V$  - velocidade
- $un$  - unidade
- $d_2$  - coeficiente para estimativa do desvio padrão
- $CV_e$  - coeficiente de variação do ensaio
- $a/c, x$  - relação água/cimento
- $\alpha$  - teor de argamassa seca
- $a$  - agregado miúdo

*b* - agregado graúdo

*m* - relação agregados/cimento

*H* - fator água/materiais secos

*C* - consumo de cimento

C10 classe do concreto – concreto de resistência à compressão igual a 10 MPa

C15 classe do concreto – concreto de resistência à compressão igual a 15 MPa

C30 classe do concreto – concreto de resistência à compressão igual a 30 MPa

C35 classe do concreto – concreto de resistência à compressão igual a 35 MPa

C40 classe do concreto – concreto de resistência à compressão igual a 40 MPa

C80 classe do concreto – concreto de resistência à compressão igual a 80 MPa

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Histórico e contextualização.....	15
1.2	Objetivos .....	17
1.1.1	Objetivo geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
1.3	Justificativa.....	18
2.	CONCRETO .....	20
2.1	Componentes do concreto .....	20
2.1.1	Cimento portland .....	20
2.1.2	Agregado .....	21
2.1.2.1	Agregado miúdo .....	22
2.1.2.2	Agregado graúdo .....	22
2.1.3	Água de amassamento.....	22
2.1.4	Aditivos .....	22
2.2	Propriedades do concreto no estado fresco.....	24
2.3	Propriedades do concreto no estado endurecido.....	25
2.4	Durabilidade .....	25
2.5	Concreto pré moldado.....	26
3.	DOSAGEM DO CONCRETO.....	28
3.1	Lei de Abrams .....	28
3.2	Lei de Lyse.....	29
3.3	Lei de Molinari.....	29
3.4	Teor de argamassa .....	29
3.5	Processo de dosagem.....	29
4.	A QUALIDADE DO CONCRETO.....	31

4.1	Origem da gestão de qualidade .....	31
4.2	Estatística aplicada a Engenharia .....	31
4.3	Controle de produção do concreto .....	35
4.3.1	Carta de Valores Individuais .....	35
4.3.2	Carta do Desvio-Padrão .....	35
4.3.3	Carta do Coeficiente de Variação das Operações de Ensaio e Controle.....	38
4.4	Controle de aceitação e recebimento do concreto .....	38
4.4.1	Exigência de durabilidade.....	38
4.4.2	Controle de aceitação.....	40
4.4.3	Controle de recebimento .....	42
4.5	Avaliação estatística de desempenho do ensaio .....	42
5.	MÉTODO DE PESQUISA.....	44
5.1	Materiais e equipamentos .....	45
5.2	Procedimentos experimentais .....	45
5.2.1	Moldagem de corpos de provas cilíndricos.....	45
5.2.2	Ensaio de resistência à compressão do concreto.....	47
5.3	Execução dos estudos .....	49
5.3.1	Estudo 1 – Determinação da resistência à compressão.....	49
5.3.2	Estudo 2 – Determinação do traço .....	49
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
6.1	Valores de resistência à compressão.....	51
6.1.1	Exemplares com resistência à compressão na idade de 1 dia .....	51
6.1.2	Exemplares com resistência à compressão na idade de 5 dias .....	52
6.1.3	Exemplares com resistência à compressão na idade de 28 dias ...	52
6.2	Análise dos resultados da resistência à compressão.....	53
6.2.1	Exemplares com 1 dia de idade.....	53

6.2.2 Exemplos com 5 dias de idade.....	54
6.2.3 Exemplos com 28 dias de idade.....	54
6.3 Controle de produção do concreto .....	55
6.3.1 Carta de valores individuais da resistência à compressão na idade de 1 dia .....	55
6.3.2 Carta de valores individuais da resistência à compressão na idade de 5 dias.....	56
6.3.3 Carta de valores individuais da resistência à compressão na idade de 28 dias.....	57
6.2.4 Diagrama da evolução da resistência à compressão das amostras de concreto em função da idade .....	57
6.3 Fatores de influência no processo de confecção do concreto.....	58
6.3.1 Controle do traço .....	58
6.3.2 Controle dos materiais.....	59
6.3.3 Controle de trabalhabilidade .....	63
6.3.4 Controle da cura .....	64
6.4 Cálculo de dosagem do traço de concreto .....	66
6.5 Resistência à compressão do traço dosado.....	67
6.5.1 Valores de resistência à compressão .....	67
6.5.2 Gráfico da Lei de Abrams para as idades de 3, 7 e 28 dias .....	68
6.5.2 Traço recomendado.....	68
7. CONCLUSÃO .....	70
8. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	72

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade dos bens de serviço não é recente, visto que quando os consumidores pretendiam usufruir de um determinado produto, sempre certificavam-se de obter aquele que lhe parecia em melhor estado. Com essa necessidade o setor de controle de qualidade desenvolveu-se para auxiliar a produção em massa, introduzindo técnicas de amostragem e outros procedimentos de base estatística (LONGO, 1996).

O concreto, segundo Ibracon (2011), comporta-se como material versátil, com ótimo custo/benefício, facilidade de ser confeccionado, resistente, moldável, entre outras características que contribuem com a sua alta demanda na indústria da construção civil.

Para reduzir custos, otimizar o concreto e aprimorar técnicas construtivas, desenvolveram-se métodos de dosagem que possibilitaram várias alternativas de concreto, oferecendo-se concreto de alta resistência (CAR ou HSC *High Strength Concrete*); concreto de alto desempenho (CAD ou HPC *High-Performance Concrete*); concreto autoadensável (CAA ou SCC *Self-Compacting Concrete*); concreto com alto teor de adições e pozolanas; concreto aparente; concreto colorido; concreto branco; concreto com agregados reciclados, concreto duráveis e demais, configurando a dosagem em um processo complexo e específico (IBRACON, 2011).

Helene e Terzian (1992) explana a importância da resistência à compressão do concreto e explica às etapas de controle de produção do concreto, considerando a escolha dos materiais utilizados, ordem em que são depositados na betoneira, tempo de mistura, propriedades no estado fresco e propriedades no estado endurecido.

O processo de produção do concreto envolve várias etapas, as quais iniciam no controle de aceitação dos materiais, isto é, análise da conformidade dos agregados miúdos e graúdos, bem como a verificação do tipo, classe e validade do cimento e, quando são empregados aditivos, deve-se verificar a compatibilidade dos mesmos com o cimento, além de verificar se os mesmos ainda se encontram dentro do prazo de validade. Outra variável importante é a forma em que os materiais são armazenados, visto que o tipo de armazenamento influencia na qualidade dos materiais, que poderão ser contaminados quando não depositados de forma correta ou perder muito rapidamente sua validade, como é o caso do cimento. Outra etapa de extrema relevância é o controle de umidade dos agregados miúdos e graúdos, dado

que essa é uma das variáveis que mais afetam a relação água/cimento e conseqüentemente a resistência à compressão do concreto.

O presente trabalho buscou verificar a qualidade do concreto produzido em uma empresa de pré-moldados, instalada na cidade de Pato Branco – PR. Para tanto, fez-se análise da resistência à compressão e, posteriormente tratou-se de encontrar as razões técnicas que justificassem as conformidades ou não conformidades. Para efetivar os objetivos foi determinada a resistência à compressão do concreto, por meio da moldagem de corpos de prova de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, os quais foram ensaiados nas idades de 1 (um) dia, 5 (cinco) dias e 28 (vinte e oito) dias. Posteriormente, foram plotadas as cartas de valores individuais afim de rastrear possíveis não conformidades com as condições de controle tecnológico do concreto e dos materiais. Dessa forma, o estudo proposto tem por finalidade responder a pergunta: O concreto produzido pela empresa voluntária atende aos critérios de qualidade impostos pelas normas de controle de produção e dos materiais do concreto?

## 1.1 HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO

A popularidade do concreto é consequência de suas propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Mehta e Monteiro (1994) esclarecem que as vantagens na utilização de concreto consiste na capacidade resistir à ação da água, facilidade de confecção, versatilidade na execução de elementos estruturais, disponibilidade e custo. Ressaltam a divergência em relação ao aço ou a madeira, pois o concreto tem comportamento compatível em estruturas que precisam conter, guardar ou transportar água. Além de destacar que a consistência plástica permite a este material se moldar de acordo com a forma. E dentre outras vantagens, destaca-se a acessibilidade de encontrar os materiais para produção do concreto (cimento portland, agregados e água) em todo o mundo, tornando-o menos oneroso (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A importância em preservar os valores de resistência à compressão no concreto são explicadas por Helene e Terzian (1992), os quais, por meio de pesquisas,

demonstram que a variabilidade das propriedades mecânicas dependem de variáveis aleatórias, como geometria dos elementos estruturais e ação das cargas de atuação.

Helene e Terzian (1992) fazem uma análise sobre a importância do estudo da proporcionalidade dos materiais para a dosagem de concreto e revela que desde os seus primeiros usos há a importância de obter um conglomerado compacto e sólido que não poderia ser adquirido de forma arbitrária.

O primeiro estudo de proporção racional dos materiais foi feito por René Ferét, chefe do laboratório de Ponts et Chaussées na França. Foi nesse estudo que descobriu-se a lei fundamental que relaciona a compactidade com a resistência da argamassa. Dando origem a outros estudos que por fim correlacionam a resistência à compressão com a relação aos vazios e a água (HELENE; TERZIAN, 1992).

Montgomery, Runger e Hubele (2004) destacam a importância dos métodos estatísticos para auxiliar a compreensão da variabilidade, que pode ser observada através da análise de sistemas ou fenômenos que não produzem a mesma resposta. E afirmam que no cotidiano são encontradas várias manifestações da variabilidade, e dessa forma a estatística pode ser utilizada como ferramenta para solucionar e tratar os dados. Citam como exemplo o desempenho do carro que é dependente do tipo de estrada, desgaste do veículo ao longo do tempo, condições climáticas, marca ou número de octagem da gasolina usada, entre outros e é nesse momento que a estatística pode auxiliar na determinação de qual fonte tem maior impacto no consumo de gasolina.

No artigo publicado por Brunauer e Copeland (1964) através da Scientific American, eles descreveram o concreto como:

O material mais largamente usado em construção é o concreto normalmente feito com mistura de cimento portland com areia, pedra e água. No ano passado, nos Estados Unidos, 63 milhões de toneladas de cimento portland foram convertidas em 500 milhões de toneladas de concreto, cinco vezes o consumo de aço, em massa. Em muitos países, o consumo de concreto é 10 vezes maior que o de aço. O consumo mundial total de concreto, no ano passado foi estimado em três bilhões de toneladas, ou seja, uma tonelada por ser humano vivo. O homem não consome nenhum outro material em tal quantidade (BRUNAUER; COPELAND, 1964).

É interessante observar as palavras ditas por Brunauer e Copeland em 1964 e perceber que no Brasil ainda é o material mais utilizado conforme Kihara e Visedo (2014), e ainda afirmam que o país vive um ciclo de crescimento com 87 indústrias

cimenteiras que produziram 70 milhões de toneladas de cimento só em 2013, tornando o Brasil o sexto maior produtor e quarto maior consumidor desta matéria prima no mundo. Este material ainda se encaixa no conceito de sustentabilidade pela possibilidade de economia de matéria prima, menor consumo energético e possibilidade reciclagem dos resíduos gerados em sua confecção (KIHARA e VISEDO, 2014).

Entretanto, El Debs (2000) salienta, que a construção civil no Brasil é uma indústria atrasada comparada a outros setores industriais, pois apresenta produtividade baixa, alto índice de desperdício dos materiais, morosidade e baixo controle qualidade. O uso de pré-moldados ou pré fabricados surgiu como uma forma de otimizar o setor da construção civil, reduzindo o custo com mão de obra e materiais, proporcionando um canteiro de obra mais limpo e organizado, aumentando a velocidade de execução, entre outros.

A industrialização na construção é caracterizada pela qualidade do produto final agregada à rapidez na execução. É por essa característica que o nome construção industrializada é associado à pré-fabricação, que podem ser executados no canteiro de obras ou em indústrias de alta tecnologia, produzindo componentes estruturais ou módulos (CALÇADA, 2014).

O sistema pré-moldado tem evoluído com o passar do tempo, ao ser combinado com o concreto protendido, promete garantir a eficiência estrutural proporcionando maiores vãos e redução da altura efetiva de lajes e vigas. Dessa forma, oferece maior vida útil da estrutura e flexibilidade na construção para adaptar-se ao tipo de utilização (ACKER, 2002).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Realizar análise da qualidade do processo produtivo do concreto utilizado nas peças pré-moldadas de uma empresa da cidade de Pato Branco – PR.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre dosagem de concreto convencional, controle de produção do concreto, controle de aceitação do concreto;
- Determinar a resistência à compressão do concreto nas idades de 1 dia, 5 dias e 28 dias;
- Elaborar Cartas de valores individuais;
- Demonstrar os fatores responsáveis em caso de não conformidade e propor estratégias para mitigar a variabilidade da qualidade do concreto;
- Elaborar uma proposta para contribuir com o processo de controle de qualidade.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O aperfeiçoamento e desenvolvimento do concreto tornou-se possível em decorrência do nível de conhecimento adquirido ao longo da história da humanidade, dessa forma, o concreto é considerado um dos materiais que mais se adapta ao conceito de sustentabilidade tendo como referência o seu efeito em escala de uso, otimização de matéria prima, energia, emissão de gases poluentes e outros (IBRACON, 2011).

Em estudos, a Associação Brasileira de Cimento Portland (2009) afirma que a necessidade de aumentar a competitividade e produtividade em obras estimula a indústria da construção civil, objetivando a transformação da obra em local de montagem de sistemas, evitando os improvisos e desperdício de materiais e tempo. Ao utilizar componentes pré-fabricados produzidos em usinas e transportados para a obra viabiliza a sustentabilidade como solução racional.

A importância desse estudo consiste em verificar a qualidade do processo produtivo do concreto e fornecer para a empresa laudos a respeito da estabilidade dos valores de resistência à compressão do concreto dentro de períodos pré-estabelecidos, observar fatores no processo de produção que podem causar algumas variações, como exemplo temos: a temperatura, mudança no operador, o controle dos materiais e outros. Enfim, espera-se a possibilidade de propor possíveis melhorias.

A indústria de concreto pré-moldado está em ascensão e de acordo com Milani, Boesing, Philippsen e Miotti (2012), é necessário utilizar estratégias inovadoras para chamar a atenção do mercado para o seu produto, através de diferencial, competitividade, acessibilidade, aumentando o lucro sem prejudicar o resultado final. Palacios (2012) ressalta que avaliar a resistência das estruturas tem sido objeto de muitas pesquisas, devido aos frequentes casos de obras que não apresentam conformidade com o especificado no projeto.

Para o cumprimento dos objetivos deste trabalho, a empresa voluntária fornecerá amostras de concreto periodicamente para serem analisadas e testadas em laboratório quanto a resistência à compressão nas idades de 1 dia, 5 dias e 28 anos, dessa forma pretende-se fazer o acompanhamento da evolução na resistência à compressão do concreto, da existência de variabilidade dos valores de resistência e identificar se a resistência à compressão do concreto atende a resistência característica de projeto ( $f_{ck}$ ).

Além disso, pretende-se, melhorar a qualidade do processo produtivo por meio da identificação de falhas na produção ou melhorar a qualidade do produto caso necessário, por meio de nova dosagem do concreto. Devido a especificidade do encaminhamento metodológico o trabalho possui originalidade. As verificações que serão executadas são obtidas através de ensaios experimentais de fácil execução que viabiliza o cumprimento da proposta apresentada.

## 2. CONCRETO

O concreto pode ser definido como material composto formado por cimento, agregados e água (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2013). Segundo Neville e Brooks (2010) o concreto é qualquer massa produzida por meio cimentante. E na visão de Mehta e Monteiro (1994) a estrutura do concreto depende do tipo, quantidade, tamanho, forma e distribuição das fases presentes no sólido.

O concreto pode ser misturado seguindo os requisitos de suas propriedades no estado fresco e endurecido, composição, confecção, controle e recebimento, seguindo as instruções da norma ABNT NBR 12655 (2006), que considera a consistência, massa específica, resistência, durabilidade, proteção das barras e o processo construtivo a ser executado. E especifica a importância de evitar a segregação na dosagem do concreto para as etapas de mistura, transporte, lançamento e adensamento e de combater substâncias prejudiciais de forma a evitar danos na durabilidade ou reação com a armadura.

### 2.1 COMPONENTES DO CONCRETO

Conforme Mehta e Monteiro (1994), na escolha dos materiais a serem executados em obras de engenharia, considera-se a competência em resistir as cargas atuantes. Deste modo, as condições de controle tecnológico dos materiais componentes do concreto são estabelecidos pela Norma ABNT NBR 12654 (1992) que estabelece para cada material cuidados e procedimentos diferentes de forma a cumprir suas exigências.

#### 2.1.1 Cimento portland

O cimento portland é definido pela ABNT NBR 12655 (2006) como:

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante essa operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a essa mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores indicados nas normas específicas (ABNT NBR 12655, 2006).

Segundo a ABCP (2002) o cimento portland tem propriedade de aglomerante, aglutinante ou ligante sob a forma pulverulenta que em contato com a água endurece. Após endurecido se submetido a ação da água não se decompõem.

Nas palavras de Neville e Brooks (2013) pode ser produzido moendo-se a mistura crua de material cálcico (cálcario ou giz), sílica e alumina (argila) obtendo-se um pó fino e queimando-as em um forno com temperatura aproximada à 1440°C, transformando-se em clínquer que depois de resfriado é adicionado uma porção de gipsita e moído novamente resultando em cimento portland.

No preparo do concreto toma-se especificações da norma ABNT NBR 12655 (2006) que para a escolha do tipo de cimento portland considera a aplicação, o tipo de cura, as dimensões, os detalhes arquitetônicos e executivos e o calor de hidratação do cimento. É preciso manter alguns cuidados com o armazenamento como separar o cimento por marca, tipo e classe. Em caso de empilhamento não podem estar em contato direto com o chão, podem ser apoiados em estrado ou paletes de madeira, em local fechado, protegido da ação de intempéries. O empilhamento pode ser executado em até 10 unidades de cimento para períodos longos e 15 unidades de cimento se forem usados antes de 15 dias.

### 2.1.2 Agregado

Os agregados podem representar cerca de  $\frac{3}{4}$  do volume do concreto, nesse caso a sua qualidade limita a resistência do concreto e suas propriedades determinam o desempenho estrutural e a durabilidade (NEVILLE; BROOKS, 2013). Conforme Mehta e Monteiro (1994) a fase agregado influencia o módulo de elasticidade, estabilidade dimensional e massa unitária do concreto. Os requisitos determinados pela norma ABNT NBR 7211 (2005) define que:

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto (NBR 7211, 2005, item 4.1).

Em circunstância em que os agregados forem recuperados por lavagem a norma ABNT NBR 12655 (2006) afirma que os agregados podem ser usados no concreto se possuírem as mesmas características do agregado primário. E explica

que quando não são classificados em termos granulométricos podem ser adicionados até 5% do volume total do concreto. Ainda destaca a importância de observar a reatividade do agregado com álcalis presente no cimento estabelecida pela norma ABNT NBR 7211 (2005). Na armazenagem devem separar os agregados pela graduação granulométrica, sem contato com o solo e evitar a contaminação com outros materiais prejudiciais ao concreto (ABNT NBR 12655, 2006).

#### 2.1.2.1 Agregado miúdo

Com base na norma ABNT NBR 7211 (2005) os agregados miúdos são os grãos que passam na peneira de malha 4,75 milímetros. As características de maior influência na dosagem do concreto segundo Helene e Terzian (1992) é a granulometria, módulo de finura, massa unitária, massa específica, inchamento, natureza do agregado, entre outros.

#### 2.1.2.2 Agregado graúdo

Segundo o estabelecido pela norma ABNT NBR 7211 (2005) os agregados graúdos são os grãos que passam na peneira de malha 75 milímetros e retidos na peneira de malha 4,75 milímetros. As características de maior influência na dosagem do concreto segundo Helene e Terzian (1992) é a granulometria, dimensão máxima característica, massa unitária, massa específica, inchamento, natureza do agregado, entre outros.

#### 2.1.3 Água de amassamento

A qualidade da água é importante pois a presença de impurezas podem prejudicar a pega do cimento, causar manchas, interferir na resistência do concreto e levar à corrosão da armadura (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Na Norma ABNT NBR 12655 (2006) ainda define que o armazenamento da água destinada ao amassamento do concreto deve ser de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas.

#### 2.1.4 Aditivos

É o material utilizado para modificar as propriedades do estado fresco ou endurecido adicionado na mistura do concreto proporcional à massa de cimento (NBR

12655, 2006). Existem vários tipos de aditivos que podem ser escolhidos de acordo com o desempenho esperado, eles podem ser redutores de água (plastificantes), retardadores de pega, aceleradores, e outros.

A norma ABNT NBR 9062 (2001) explica que os aditivos são aplicados em concreto em que há a necessidade de melhorar a trabalhabilidade, antecipar ou retardar a pega, motivar o desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, diminuir o calor de hidratação, possibilitar a utilização de relação água/cimento menores, favorecer a compacidade e impermeabilização e em alguns casos contribuir no combate à agentes agressivos e mudanças climáticas.

Ao concreto podem ser adicionados aditivos com objetivo de acelerar ou retardar a pega e o desenvolvimento da resistência nas idades iniciais, reduzir o calor de hidratação, melhorar a trabalhabilidade, reduzir a relação água/cimento, aumentar a compacidade e impermeabilidade ou incrementar a resistência aos agentes agressivos e às variações climáticas, desde que atendam às especificações de Normas Brasileiras ou, na falta destas, se as propriedades tiverem sido verificadas experimentalmente em laboratório nacional especializado (ABNT NBR 12655, 2006).

Os aceleradores contribuem no endurecimento ou desenvolvimento da resistência inicial. Os retardadores de pega são úteis na prevenção de juntas frias que podem ocorrer na execução de camadas sucessivas e em clima quente pois o tempo de pega reduz em decorrência da alta temperatura. Os plastificantes são usados em três situações: aumento da resistência reduzindo a relação água/cimento mas mantendo a trabalhabilidade, mantendo a trabalhabilidade pela redução de teor de cimento e diminuição do calor de hidratação, aumento da trabalhabilidade para facilitar o lançamento do concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Quanto a utilização de aditivos a norma ABNT NBR 11768 (1992) recomenda que a quantidade total de aditivo utilizada não exceda a dosagem máxima recomendada pelo fabricante. Em caso de utilização de diferentes aditivos procura-se verificar a compatibilidade entre eles. Em quantidade maiores que 2 g/kg de cimento é utilizado dispersado na água de amassamento. Quando utilizado mais de 3 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de concreto deve-se considerar a água contida no aditivo no cálculo de relação água/cimento. No armazenamento procura-se conservar as embalagens originais até o momento do seu uso com identificação da marca, lote, tipo de produto, data de fabricação e prazo de validade (ABNT NBR 12655, 2006).

## 2.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

No concreto fresco o grau de adensamento tem influência na resistência, por esse motivo ressalta-se a importância da consistência, visto que esta é decisiva no comportamento do concreto para as etapas de transporte, lançamento, adensamento e acabamento, além de determinar a existência de segregação (NEVILLE, 1997).

Algumas propriedades são importantes para manter o concreto do estado fresco em perfeitas condições de uso, a ASTM C 125 (apud MEHTA; MONTEIRO, 1994) define a trabalhabilidade como o esforço requerido para manusear uma quantidade de concreto fresco com um mínimo de perda da homogeneidade. E o Ibracon (2011) ainda afirma que a consistência é a relação entre a coesão do material com facilidade de escoamento do mesmo, enquanto a trabalhabilidade seria a afinidade do concreto fresco em se adaptar às fases de mistura, transporte, lançamento e acabamento.

Neville (1997) salienta a diferença entre a massa específica de um concreto com a massa específica de um concreto bem adensado e destaca como a presença de vazios pode reduzir a resistência.

As exigências de verificação de trabalhabilidade requerida para estruturas pré-moldadas são especificadas através da norma ABNT NBR 9062 (2001) que refere as medidas pela constatação da consistência prevista pode ser verificada através de ensaios de consistência como o ensaio de abatimento do tronco de cone ou outros meios de verificação eficientes recomendado por órgão especializado.

Outro fenômeno que afeta o concreto é a retração plástica, causada pela perda rápida de água de amassamento por absorção dos agregados, fôrmas ou evaporação para o meio externo. Nos estudos de tecnologia do concreto há o interesse em combater a retração no concreto, pois em grande quantidade gera fissuras que comprometerão a durabilidade do concreto endurecido, tornando-o suscetível a ataques externos (IBRACON, 2011).

## 2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

O Ibracon (2011) afirma que a resistência mecânica, a porosidade e a durabilidade são propriedades dependentes da resistência da zona de ligação entre o agregado com a pasta de cimento. Ainda ressalta que o desempenho do concreto é comprometido caso a resistência na região de ligação seja inferior ao da pasta e do agregado.

Tanto no controle de qualidade e para os engenheiros a resistência é a propriedade mais valorizada, dessa forma, Mehta e Monteiro (1994) estabelecem que a porosidade e a resistência são inversamente proporcional entre si e ainda advertem que em materiais polifásicos, como o concreto, a pasta de cimento é o alvo da porosidade que acaba por limitar os valores de resistência.

Em concretos pré-moldados é possível determinar a resistência através de métodos não-destrutivos, correlacionando a leitura do método com corpos de provas convencionais. Diante do exposto para validar as leituras recomenda-se considerar a variação dos valores (ABNT NBR 9062, 2001).

## 2.4 DURABILIDADE

Durabilidade de acordo com Mehta e Monteiro (1994) é sinônimo de vida útil longa. Dessa forma, ainda complementa afirmando que é a capacidade de resistir aos processos de deterioração, sejam eles ataques químicos, intempéries, abrasão, entre outros.

Há a importância de que o concreto tenha comportamento compatível com as funções ao qual foi projetado para suportar, seguindo esse raciocínio, Neville (1997) salienta que para o concreto ser considerado durável, é necessário que vença os processos de deterioração aos quais são submetidos ao longo de sua vida útil. Entretanto, não significa que o concreto seja a prova de qualquer ação deteriorativa e nem que vá resistir por tempo indeterminado.

Os tipos de manifestações que afetam a durabilidade podem atuar de por agentes externos suscetíveis ao concreto no estado endurecido e de forma interna enquanto o concreto encontra-se no estado fresco. As ações podem ser realizadas

por fatores mecânicos, através de impactos, abrasão, erosão, cavitação, entre outros; podem ser de forma química incluindo as reações álcali-sílica e álcali-carbono no interior do concreto e ataques por sulfatos, cloretos e óxidos na parte externa ao concreto; além estarem suscetíveis às intempéries físicas causadas por diferenças de temperaturas (NEVILLE, 1997).

Na visão de Neville e Brooks (2013) a permeabilidade é a capacidade que os fluídos líquidos ou gasosos tem de se locomover dentro do concreto, e ainda esclarecem que se aproveitando dessa característica os agentes externos se infiltram no concreto. Portanto, concluíram que o estudo da permeabilidade é fundamental para melhorar a durabilidade do concreto.

## 2.5 CONCRETO PRÉ MOLDADO

O processo construtivo pré-moldado foi desenvolvido no fim da década de 60, com a idéia de manter um padrão de construção em que as dimensões e pesos dos elementos são confeccionados em fábricas e viáveis ao transporte e a montagem, permitindo o emprego de fôrmas iguais ajustadas para seções diferentes (DEL DEBS, 2000).

De acordo com a norma ABNT NBR 9062 (2006), elementos pré-moldados são aqueles confeccionados em local diferente do qual será destinado ao uso seguindo as especificações do controle de qualidade, os elementos pré-fabricados são elementos pré-moldados executados em canteiros temporários da obra em que será utilizado respeitando rigorosamente as condições do controle de qualidade.

Quanto ao preparo é vedado o amassamento do concreto de forma manual, e em relação a resistência, quantidade de materiais e amassamento mecânico seguem as recomendações da norma ABNT NBR 6118 (2014). No transporte e lançamento ainda considera-se a norma ABNT NBR 6118 (2014). Para o adensamento é disposto que enquanto ou concomitante ao lançamento a utilização de vibrador, centrífuga ou prensa no concreto, possibilitando o preenchimento da fôrma. É importante evitar a segregação dos materiais e também o contato do vibrador com a armadura pois pode comprometer a aderência entre o concreto e armadura (ABNT NBR 9062, 2006).

Na necessidade de paralisação da concretagem, a norma ABNT NBR 9062 (2006) aconselha a retirada do concreto, que não é possível ser adensado, da fôrma e troca por concreto fresco, respeitando as exigências de forma a garantir a plena ligação do concreto endurecido com o novo concreto.

Em elementos pré-moldados verifica-se a estabilidade do conjunto estrutural e das peças pré-moldadas. Considera-se a diminuição da rigidez nas peças adotando-se coeficientes de majoração, determinados em função da flambagem e condições de vínculos das partes isoladas, relacionados para cada situação de carga adotada no projeto (ABNT NBR 9062, 2006).

A norma ABNT NBR 9062 (2006) ainda limita a resistência característica à compressão do concreto conforme a norma ABNT NBR 6118 (2014) e para elementos pré-moldados não estruturais limita a resistência do concreto igual ou superior a 15 MPa.

Para determinação da resistência mecânica recomenda-se os encaminhamentos das normas ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739. Na realização de corpos de prova para determinação da resistência mecânica, aconselha-se a verificação de consistência do mesmo concreto através de ensaio. Define-se a idade de ruptura usualmente para 28 dias de idade, excluindo a determinação da resistência afim de liberação da protensão. Pode-se usar resistência com idade menor, caso seja correlacionada com a resistência da idade prevista, normalmente adota-se 7 dias quando realizada cura convencional e 1 dia para cura térmica (ABNT NBR 9062, 2001).

A norma ABNT NBR 9062 (2006) defende que o controle de qualidade e as etapas de produção, transporte e montagens das peças pré-moldadas devem garantir cumprimento das especificações do projeto. Na organização dos elementos confeccionados são identificados unitariamente e classificados por lote de produção.

O controle na etapa de produção é feito através de um documento constando a identificação da peça, a data de fabricação, classe do aço e classe do concreto além da assinatura do responsável pela verificação e liberação. Na etapa de produção os elementos pré-moldados com especificações menos rigorosas de qualidade dispensam o uso de laboratórios podendo ser inspecionados unitariamente ou por lotes (ABNT NBR 9062, 2006).

Alguns parâmetros são definidos durante a inspeção e o recebimento onde são analisados a aparência, cantos, cor, rebarbas, textura, além de amostras

comprovativas da qualidade especificada. No controle de qualidade e inspeção dos materiais do concreto, a norma ABNT NBR 9062 (2006) demonstra preocupação na verificação do teor de umidade dos agregados; da massa específica; das condições de armazenamento dos materiais que compõem o concreto; da seqüência de deposição dos materiais e tempo da mistura; da trabalhabilidade; da altura, quantidade e tempo de lançamento; da energia, alcance e tempo de adensamento; da cura e da resistência do concreto para liberação e transferência da protensão ou para levantamento e manuseio do elemento.

### 3. DOSAGEM DO CONCRETO

Para Mehta e Monteiro (1994) o objetivo da dosagem é conseguir um concreto que atenda as especificações requerida como a trabalhabilidade enquanto fluido e resistência em idade definida enquanto sólido. Na dosagem são considerados fatores econômicos e técnicos, de forma a garantir a resistência do concreto adotada com o mínimo de custo (NEVILLE; BROOKS, 2013). Neville (1997) denota que a importância em estudar as propriedades do concreto é com a finalidade de poder determinar as proporções que darão origem ao traço.

Helene e Terzian (1992) afirma que a relação água/cimento é um componente importante no concreto estrutural e expõem as leis de comportamento que auxiliam no estudo de dosagem, sendo elas: Lei de Abrams, Lei de Lyse, Lei de Molinari e o Teor de argamassa seca.

#### 3.1 LEI DE ABRAMS

A Lei de Abrams (1918), também conhecida como Modelo de Powers (1966), determina que para uma certa idade, a relação água/cimento é inversamente proporcional à resistência do concreto. Essa lei pode ser expressa pela Fórmula 1 (IBRACON, 2011).

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \text{ (Fórmula 1)}$$

### 3.2 LEI DE LYSE

A Lei de Lyse (1932) estabelece que o consumo de cimento e agregados para uma consistência do concreto fresco constante depende da relação água/cimento. A Fórmula 2 exemplifica a Lei de Lyse (IBRACON, 2011).

$$m = k_3 + k_4 \cdot a/c \text{ (Fórmula 2)}$$

### 3.3 LEI DE MOLINARI

A Lei de Molinari, também conhecida Lei de Prizskulnik & Kirilos (1974), afirma que o consumo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto varia na proporção inversa a relação de agregados/cimento em massa seca. O consumo de cimento pode ser calculado com a Fórmula 3 (IBRACON, 2011).

$$C = 1000/(k_5 + k_6 \cdot m) \text{ (Fórmula 3)}$$

### 3.4 TEOR DE ARGAMASSA

O teor de argamassa seca ( $\alpha$ ) é independente do traço e da resistência para um conjunto de materiais. A seguinte Fórmula 4 explica a relação do teor de argamassa (HELENE; TERZIAN, 1992).

$$\alpha = (1 + a)/(1 + m) \text{ (Fórmula 4)}$$

### 3.5 PROCESSO DE DOSAGEM

O processo de dosagem sugerido por Helene (1992) é dividido em 14 passos, sendo eles:

1. Definição do tipo de cimento a ser empregado em função da agressividade ambiental e do calor de hidratação;

2. Definição da trabalhabilidade do concreto em função das condições de mistura, transporte, lançamento, adensamento e características dos elementos estruturais;
3. Escolha da dimensão máxima característica dos agregados em função do espaçamento entre as barras horizontais e verticais, da dimensão da fôrma, do diâmetro da tubulação de bombeamento e do cobrimento da armadura;
4. Determinação do teor de argamassa ideal, empregando-se o conjunto de materiais previamente selecionados e o abatimento pré-estabelecido;
5. Produção de 3 misturas de concreto, uma normal, uma pobre e outra rica, moldagem de 3 corpos de prova por idade para cada uma das 3 misturas, conforme NBR 5738;
6. Determinação da relação água/materiais secos para cada uma das 3 misturas;
7. Determinação da massa específica de cada mistura, como forma de determinar o consumo de cimento por metro cúbico;
8. Determinação da resistência à compressão dos concretos, conforme NBR 5739;
9. Estabelecimento da curva entre a resistência à compressão e a relação água/cimento e obtenção da função da curva;
10. Determinação da resistência de dosagem do concreto, a partir do fck de dosagem e do desvio padrão, em caso do desconhecimento do desvio padrão, adotar as recomendações da norma ABNT NBR 12655. O valor do fck deve ser maior ou igual ao preconizado pela norma ABNT NBR 12655 observando a classe de agressividade ambiental;
11. Determinação da relação água/cimento necessária através do valor da resistência de dosagem e verificar se é menor ou igual a especificada pela norma ABNT NBR 12655;
12. Com a relação água/cimento ( $a/c$ ), com a relação água/materiais secos ( $H$ ) e com o teor de argamassa obtido experimentalmente, emprega-se a lei de Lyse e obtém-se o traço do concreto em relação ao quilo de cimento;
13. Determinação do consumo de cimento, considerando a massa específica do concreto;

14. Confecciona o concreto utilizando-se o traço ideal para confirmação.

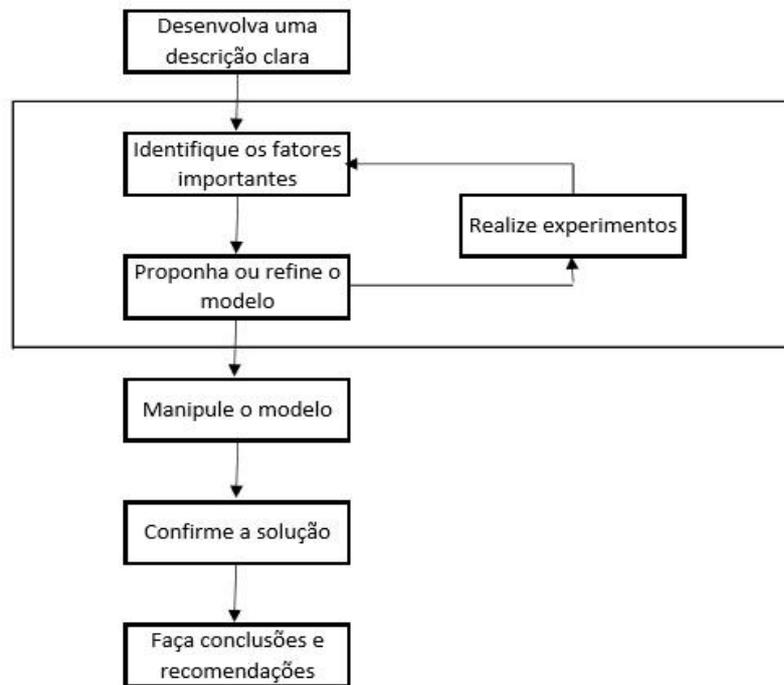
## **4. A QUALIDADE DO CONCRETO**

### **4.1 ORIGEM DA GESTÃO DE QUALIDADE**

O estatístico W. A. Shewhart, por volta da década de 20, começou estudos e questionamentos a respeito da qualidade e variabilidade das produções e serviços, dessa forma Shewhart desenvolveu ferramentas para controle estatístico de processo, estratégias de avaliação da variabilidade e o ciclo PDCA (Plan, Do, Check e Action) conhecido como método de gestão de qualidade. Após a segunda guerra mundial, os japoneses apoderam-se da idéia do controle estatístico e do processo de gestão de qualidade, e futuramente iniciam uma revolução gerencial silenciosa no Japão paralela à revolução tecnológica no Ocidente, a partir disso as revoluções tecnológicas desencadearam mudanças na cultura do Japão garantindo-o como potência mundial nos dias atuais (LONGO, 1996).

### **4.2 ESTATÍSTICA APLICADA A ENGENHARIA**

De acordo com Longo (1996) através da aplicação de princípios científicos os engenheiros solucionam problemas na sociedade. A abordagem do método é formulada de forma que descreva o problema objetivamente e sucintamente; rastreie os fatores de influência a fim de encontrar uma solução; utilize o conhecimento científico para criar um modelo do problema com suposições e limitações do mesmo; realizar experimentos que validem o modelo; corrija o modelo em função dos dados observados; realize ajustes ao modelo gerando respostas do problema; prove que a eficiência da solução através de experimentos; observe e conclua a solução do problema.



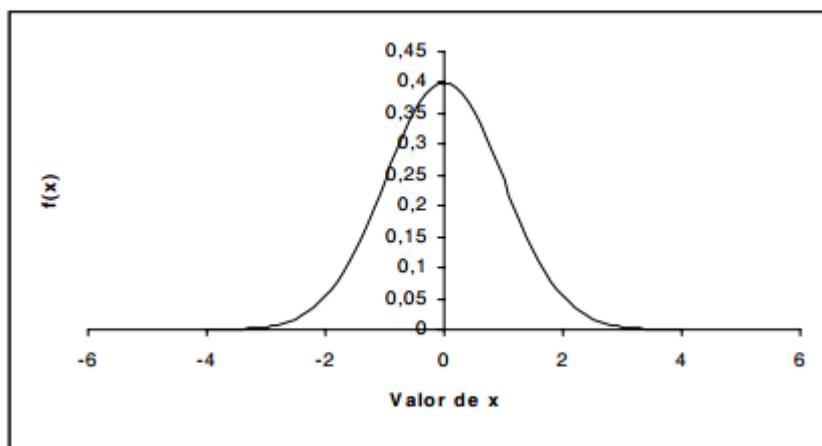
**Figura 1: Interação da série de abordagem do método científico**  
**Fonte: Montgomery, Runger e Hubele, 2004.**

Montgomery, Runger e Hubele (2004) revelam na Figura 1 a relação recíproca entre o problema e suas influências na solução, de forma a adequar a solução proposta com o modelo do fenômeno. Ainda destacam o ciclo de iterações das etapas até a formulação da solução final denotando que os engenheiros devem planejar os experimentos com eficiência, coletar os dados, interpretar e analisar os dados para entender a relação do modelo proposto com as respostas do problema.

A estatística é responsável pela aquisição, apresentação, análise e utilização dos dados na tomada de decisões e resolução de problemas. E a engenharia envolve a manipulação de dados demonstrando a importância da estatística para os engenheiros. De forma específica, as ferramentas estatísticas ajudam na elaboração de sistemas e novos produtos, otimizando os projetos, auxiliando no planejamento e melhorando os processos de produção (MONTGOMERY; RUNGER; HUBELE, 2004).

#### 4.2.1 Distribuição Normal

A distribuição normal de acordo com Fernandes (1999) é uma distribuição contínua de probabilidade de dados experimentais. Onde a média e a variância tem valores positivos. A função da probabilidade pode ser observada na Figura 2.



**Figura 2: Gráfico da distribuição normal**  
**Fonte: Fernandes, 1999.**

Fernandes (1999) ainda explica que o gráfico da Figura 2 mostra a função simétrica da média em forma de sino. E que é possível determinar o valor de X pela Fórmula 5.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \text{ (Fórmula 5)}$$

Onde:

Z é a porcentagem de a ser descontado de 100%;

X é a variável aleatória da distribuição normal;

$\mu$  é a média da amostra;

$\sigma$  é o desvio padrão.

#### 4.2.2 Distribuição de t Student

A distribuição t de Student é uma distribuição de probabilidade teórica semelhante à curva normal padrão, por ser simétrica e campaniforme. A diferença para a distribuição normal é que o tratamento dos dado por t Student calcula valores extremos, gerando o gráfico com caudas mais largas, seu único parâmetro é o número de graus de liberdade. E quanto maior número de grau de liberdade mais perto da curva normal se encontrará (FERNANDES, 1999).

Na retirada de uma amostra da distribuição normal, a estatística t é definida pela Fórmula 6.

$$t = \frac{X - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \text{ (Fórmula 6)}$$

Onde:

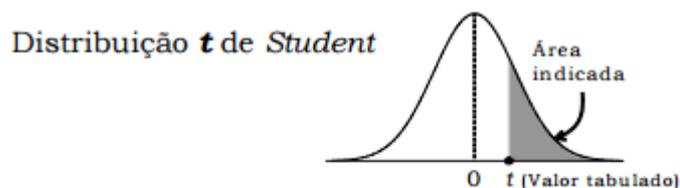
$t$  é o valor crítico do intervalo de confiança;

$X$  é a variável aleatória da distribuição normal;

$\mu$  é a média da amostra;

$s$  é o desvio padrão de uma pequena amostra;

$n$  é o número de amostras.



$gl$	Área na cauda superior								
	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001	0,0005
1	1,000	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,60
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,894	6,869
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,768
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,689
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,660
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
35	0,682	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724	2,996	3,340	3,591
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
45	0,680	1,301	1,679	2,014	2,412	2,690	2,952	3,281	3,520
50	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
<b>z</b>	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	2,807	3,090	3,291

**Nota:** A coluna em destaque é a mais usada.

Tabela 1: Distribuição  $t$  Student

Fonte: Barbetta, 2010.

### 4.3 CONTROLE DE PRODUÇÃO DO CONCRETO

O conjunto de métodos que permitem ao fabricante do concreto o controle e a qualidade na produção do concreto, respeitando as especificações de forma mais econômica denomina-se controle de produção do concreto. O objetivo é controlar os fatores que influenciam na resistência à compressão. O primeiro passo é manter a uniformidade do cimento, água e agregados; fiscalizar a proporção dos materiais durante o amassamento; verificar a ordem de deposição na betoneira e o tempo de homogeneização. O segundo passo é analisar as propriedades do concreto no estado fresco, tais como: trabalhabilidade ou consistência, teor de ar aprisionado, relação água/materiais secos e massa específica do concreto fresco. O terceiro passo é verificação da resistência à compressão, no estado endurecido, em uma idade a ser especificada que se traduz na qualidade final. Obtendo-se esses valores de resistências é possível plotar cartas e gráficos que contribuirão na análise dos resultados obtidos (HELENE; TERZIAN, 1992).

#### 4.3.1 Carta de Valores Individuais

É um controle de produção muito popular pela simplicidade de execução. Usando os elementos auxiliares (Valor da resistência característica de projeto e Valor da resistência média de dosagem do laboratório) é possível montar a carta e observar: a probabilidade de seis resultados consecutivos estarem localizados acima ou abaixo do valor médio; a possibilidade de dois exemplares em um conjunto de seis resultados estarem abaixo da resistência característica; e no caso de dois resultados consecutivos estarem abaixo da resistência característica, existir a probabilidade do concreto produzido ser deficiente demonstrando uma mudança no processo de produção (HELENE; TERZIAN, 1992).

#### 4.3.2 Carta do Desvio-Padrão

Segundo Helene e Terzian (1992) o acompanhamento da evolução do desvio-padrão é considerado muito importante no controle de qualidade, por ser um padrão característico e o custo do metro cúbico depender dele. Sempre que a resistência

média do concreto for maior que 20 MPa deve-se usar o desvio-padrão como parâmetro. De acordo com a norma ABNT NBR 6118 (2014) a resistência média de dosagem do concreto é calculada pela Fórmula 7 (Seção 8.3.1.2 da ABNT NBR 6118/2014).

$$f_{cmj,d} = f_{ck,j} + 1,65.Sd \text{ (Fórmula 7)}$$

Em concretos com desvio-padrão conhecido a norma ABNT NBR 12655 (2006), relaciona a elaboração de concreto com mesmos materiais, equipamentos similares e condições equivalentes, com o valor do desvio-padrão (*Sd*) obtido a partir de 20 resultados obtidos no intervalo de 30 dias. Onde o desvio-padrão não pode ser inferior a 2 MPa. A mesma norma especifica que para concretos com desvio-padrão desconhecido, adota-se os valores da Tabela 2 considerando a condição de preparo.

Condição de preparo	Desvio-Padrão
A	4
B	5,5
C <sup>1</sup>	7

<sup>1</sup> É exigido para concretos de classe C15 um consumo de 350 kg de cimento por metro cúbico em condição de preparo C, com desvio padrão desconhecido.

**Tabela 2: Condição de preparo**  
**Fonte: NBR 12655, 2006.**

A norma ABNT NBR 12655 (2006) estabelece para a condição A:

“Condição A (Para classes C10 à C80): cimento e agregados medidos em massa, água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida de acordo com a umidade dos agregados” (ABNT NBR 12655, 2006, seção 5.3.3.1).

A norma ABNT NBR 12655 (2006) estabelece para a condição B:

“Condição B (Para classes C10 à C25): cimento medido em massa, água de amassamento medido em volume através de dispositivo dosador e agregados medidos em massa combinado com o volume. Condição B (Para classes C10 à C20): cimento medido em massa, água de amassamento medido em volume através de dispositivo dosador e agregados medidos em volume. A umidade do agregado miúdo é determinado no mínimo 3 vezes durante o mesmo turno de concretagem. O volume do agregado é corrigido de acordo com a

curva de inchamento específica de cada material” (ABNT NBR 12655, 2006, seção 5.3.3.1).

A norma ABNT NBR 12655 (2006) estabelece para a condição C:

“Condição C (Para classes C10 à C15): cimento medido em massa, agregados medidos em volume, água de amassamento medido em volume com correção da sua quantidade em função estimada da umidade dos agregados e determinação da consistência” (ABNT NBR 12655, 2006, seção 5.3.3.1).

Na construção da carta basta colocar o valor de desvio-padrão obtido de cada lote e comparar com o desvio-padrão de dosagem e com os limites superiores e inferiores. Esse tipo de aplicação é recomendado na existência de vários lotes e amostras, mas pode ser usado em amostras com seis exemplares, porém a viabilidade da estimativa aumenta com o número de exemplares de uma mesma amostra, recomenda-se acima de 30 (HELENE; TERZIAN, 1992).

Para grandes amostras (n igual ou maior que 35) usa-se a Fórmula 8.

$$Sd \pm 1,65 \frac{Sd}{\sqrt{2(n-1)}} \text{ (Fórmula 8)}$$

Para pequenas amostras (n menor que 35) separa-se em limites que são encontrados pelas Fórmulas 9 e 10.

$$\text{Limite superior} = \sqrt{\frac{n-1}{X^2_{0,05}}} \cdot Sd \text{ (Fórmula 9)}$$

$$\text{Limite inferior} = \sqrt{\frac{n-1}{X^2_{0,95}}} \cdot Sd. \text{ (Fórmula 10)}$$

Onde  $X^2$  é obtido pela tabela em função do número de exemplares da amostra como é demonstrado na Tabela 3. E ainda é possível simplificar o cálculo quando se trata de amostras convencionais, nesse caso não é necessário utilizar as fórmulas de limites é possível encontrá-los na Tabela 4 (HELENE; TERZIAN, 1992).

n	$X^2(0,05)$	$X^2(0,95)$
6	1,15	11,1
12	4,57	19,7
18	8,67	27,6
24	13,1	35,2
30	17,7	42,6

**Tabela 3: Relação entre número de exemplares com o  $X^2$**   
**Fonte: Helene e Terzian, 1992.**

Exemplares	Limite Inferior	Limite Superior
6	0,67.Sd	2,09.Sd
12	0,75.Sd	1,55.Sd
18	0,78.Sd	1,40.Sd
35	0,80.Sd	1,20.Sd
100	0,88.Sd	1,12.Sd
200	0,92.Sd	1,08.Sd
1000	0,96.Sd	1,04.Sd
10000	0,99.Sd	1,01.Sd

**Tabela 4: Relação entre o número de exemplares e os Limites inferior e superior**  
**Fonte: Helene e Terzian, 1992.**

Assim, caso os valores de desvio-padrão estejam dentro desse intervalo não é necessário fazer correções e se for observado que o desvio-padrão esteja abaixo do admitido na dosagem pode-se retificar a dosagem para reverter em economia o valor baixo de desvio-padrão (HELENE; TERZIAN, 1992).

#### 4.3.3 Carta do Coeficiente de Variação das Operações de Ensaio e Controle

Os valores do desvio-padrão podem prejudicar os resultado, pois aumentam a resistência média à compressão de dosagem, tornando o custo do metro cúbico oneroso. Através de monitoramento gráfico é possível verificar a evolução do coeficiente de variação do ensaio. No gráfico indica-se os limites (ex: 3%, 4%, 5% e 6%). Quando a variabilidade é menor que 5%as operações de ensaios são eficientes. Na construção desse tipo de carta é necessário que cada exemplar seja composto de pelo menos dois corpos de prova. Não é recomendado utilizar lotes com médias distintas, por não saber qual média usar (HELENE; TERZIAN, 1992).

## 4.4 CONTROLE DE ACEITAÇÃO E RECEBIMENTO DO CONCRETO

### 4.4.1 Exigência de durabilidade

No projeto de estruturas de concreto analisam-se as condições ambientais previstas durante o projeto de forma a garantir segurança, estabilidade e aptidão em serviço correspondente a vida útil de acordo com a norma ABNT NBR 6118 (2014).

A Tabela 5 apresenta a classificação das classes de agressividade ambiental em relação ao ambiente e risco de deterioração da estrutura.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1 2</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1</sup>	Grande
		Industrial <sup>1 3</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1 3</sup>	Elevado
		Respingos de maré	
<sup>1</sup> Microclima com agressividade mais branda para ambientes internos secos.			
<sup>2</sup> Agressividade mais branda em obras de regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estruturas protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.			
<sup>3</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes e indústrias químicas.			

**Tabela 5: Classes de agressividade ambiental**  
**Fonte: NBR 12655, 2006.**

A durabilidade depende das características do concreto e ensaios afim de comprovar o desempenho da durabilidade da estrutura delimitando o tipo e o nível de agressividade previsto em projeto, estabelecendo os parâmetros mínimos a serem atendidos de acordo com a norma ABNT NBR 12655 (2006).

Em caso em que não há referências é possível utilizar os requisitos mínimos presentes na Tabela 6 para estabelecer correlação entre a relação água/cimento, resistência à compressão do concreto e sua durabilidade.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (Tabela 4)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto kg/m <sup>3</sup>	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
NOTA: CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado e CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

**Tabela 6: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto**  
**Fonte: NBR 12655, 2006.**

#### 4.4.2 Controle de aceitação

A consistência deve ser verificada através do ensaio do tronco de cone conforme a NBR NM 67 (1998) ou pelo espalhamento na mesa de Graff conforme NBR NM 68. (1998) O concreto preparado em obra deve ser submetido ao ensaio de consistência sempre que ocorrer alteração na umidade do agregado em situações como no primeiro amassamento do dia, reiniciar o preparo após interrupção da jornada de concretagem de 2 horas, troca de operadores e cada vez que forem moldados corpos de prova. Os valores dos ensaios de resistência à compressão devem ser usados para aceitar ou recusar lotes (ABNT NBR 12655, 2006). Para a formação de lotes é utiliza-se a Tabela 6.

Limites superiores	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples
Volume de concreto	50 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	3 dias de concretagem <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Período que deve compreender o prazo total máximo de 7 dias, incluindo eventuais interrupções para tratamento de juntas		

**Tabela 7: Valores para formação de lotes**  
**Fonte: NBR 12655, 2006.**

Para a norma ABNT NBR 12655 (2006) as amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a operação de concretagem. Cada exemplar deve ser composto de dois corpos de prova da mesma amassada para cada idade de rompimento, moldados no ato. Considera-se como resistência do exemplar o maior valor de resistência obtido.

Existem dois tipos de controle de resistência do concreto segundo a norma ABNT NBR 12655 (2006), o controle estatístico do concreto por amostragem parcial e o controle estatístico do concreto por amostragem total.

No controle por amostragem parcial são retirados exemplares de algumas betonadas de concreto que devem ter no mínimo 6 exemplares para concretos com classe até C50 e 12 exemplares para concretos do com classe superior a C50. Em lotes com exemplares entre  $6 \leq n \leq 20$ , o valor estimado da resistência característica à compressão ( $f_{ckest}$ ), na idade especificada segue a Fórmula 11.

$$f_{ckest} = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \text{ (Fórmula 11)}$$

Onde:

$$m = \frac{n}{2}, \text{ (quando ímpar despreza-se o valor mais alto de } n\text{);}$$

$f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}$  são valores da resistência dos exemplares em ordem crescente.

Não deve-se tomar para resistência característica à compressão ( $f_{ckest}$ ), valores menores que  $f_1 \cdot \psi_6$ , sendo que  $\psi_6$  é encontrado na Tabela 8.

Condição de preparo	Número de exemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	>= 16
A	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1
B ou C	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1

NOTA Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para casos excepcionais.

**Tabela 8: Valores de  $\psi_6$**   
**Fonte: NBR 12655, 2006.**

E em lotes com exemplares  $n \geq 20$ , estima-se a resistência característica à compressão ( $f_{ckest}$ ), na idade especificada pela Fórmula 12.

$$f_{ckest} = f_{cm} - 1,65S_d \text{ (Fórmula 12)}$$

Onde:

$f_{cm}$  é a resistência média dos exemplares do lote em MPa;

$S_d$  é o desvio padrão da amostra de  $n$  elementos.

No controle do concreto por amostragem total (100%) de acordo com a norma ABNT NBR 12655 (2006) consiste no ensaio de exemplares de cada amassada de concreto e aplica-se a casos especiais. Neste caso não há limitação para o número de exemplares do lote.

Em amostras com  $n \leq 20$  o valor estimado da resistência característica à compressão é dado pela Fórmula 11.

$$f_{ckest} = f_1 \text{ (Fórmula 13)}$$

Para  $n > 20$ , onde  $i = 0,05n$  (quando o valor de  $i$  for fracionário considera-se o número inteiro superior), o valor estimado da resistência característica à compressão é dado pela Fórmula 14.

$$f_{ckest} = f_i \text{ (Fórmula 14)}$$

Em casos excepcionais divide-se a estrutura em lotes correspondentes a 10 m<sup>3</sup> e faz-se amostras com exemplares entre 2 e 5, e tem-se o valor da resistência característica dado pela Fórmula 15.

$$f_{ckest} = f_1 \cdot \Psi_6 \text{ (Fórmula 15)}$$

Onde:

$\Psi_6$  é encontrado na Tabela 8.

Para aceitação de um lote de concreto deve cumprir o seguinte requisito  $f_{ckest} \geq f_{ck}$ , que diz que a resistência característica estimada deve ser maior ou igual a resistência característica de projeto (ABNT NBR 12655, 2006).

#### 2.4.3 Controle de recebimento

Para o recebimento do concreto deverão ser atendidas as condições estabelecidas pela norma ABNT NBR 12655 (2006).

### 4.5 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DE DESEMPENHO DO ENSAIO

No anexo B da norma ABNT NBR 5739 (2007) explica-se o procedimento para a avaliação estatística em relação a dispersão de resultados. Recomenda-se que se tenha mais de 10 exemplares e cada exemplar com 2 ou mais corpos de prova. A diferença entre o resultado da maior e menor resistência é caracterizado pela amplitude (A). A estimativa do desvio padrão no ensaio ( $Se$ ) dá-se pela somatória da amplitude de cada exemplar dividido pelo coeficiente  $d_2$  como mostra a Fórmula 16.

$$Se = \frac{\sum_{i=1}^n Ai}{d_2 \cdot n} \text{ (Fórmula 16)}$$

Onde:

$Ai$  é a amplitude (MPa);

$n$  é o número de exemplares da amostra e o coeficiente;

$d_2$  é encontrado na Tabela 9.

Quantidade de corpos de prova	Coefficiente d2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534

**Tabela 9: Coeficiente d2**  
**Fonte: NBR 5739, 2007.**

A determinação do coeficiente de variação dentro do ensaio ( $CV_e$ ) é encontrado pela razão entre o desvio padrão ( $Se$ ) e a resistência média ( $f_{cm}$ ) dos exemplares da amostra como mostra a Fórmula 17.

$$CV_e = \frac{Se}{f_{cm}}. \text{ (Fórmula 17)}$$

Após encontrar o coeficiente de variação ( $CV_e$ ) pode ser feita a avaliação da eficiência do ensaio com base na Tabela 10 (ABNT NBR 5739, 2007).

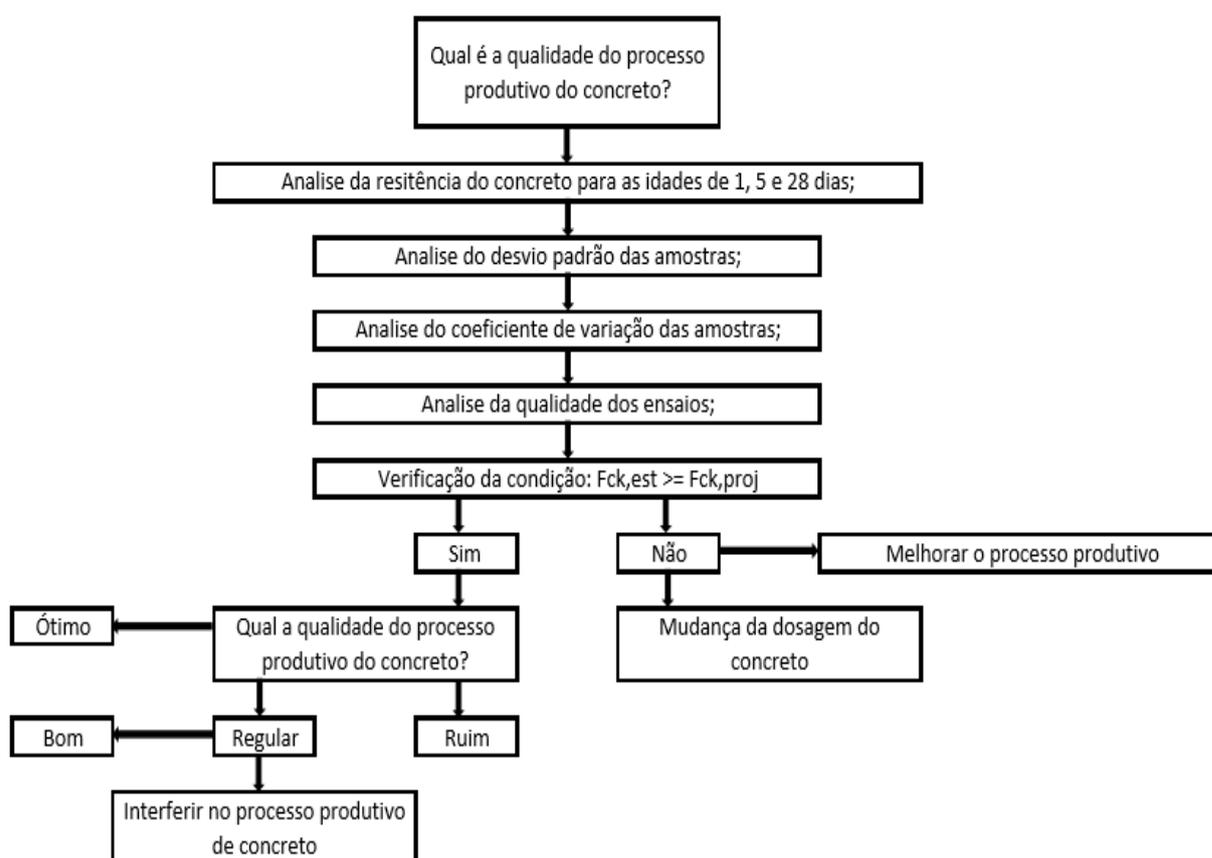
Coeficiente de variação (Cve)				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Cve ≤ 3	3 < Cve ≤ 4	4 < Cve ≤ 5	5 < Cve ≤ 6	Cve > 6

**Tabela 10: Coeficiente de variação (Cve)**  
**Fonte: NBR 5739, 2007.**

## 5. MÉTODO DE PESQUISA

O delineamento da pesquisa segue o padrão científico, avaliado através de procedimentos técnicos, que segundo Gil (2002) é representada através de experimentos que determinam um objeto de estudo, selecionam as variáveis que exercem influências, define formas de controle e observa os efeitos que o objeto sofre pelas variáveis. Além disso, analisando os objetivos dessa pesquisa pode-se classificá-la como explicativa, visto que tem como finalidade responder a uma pergunta, explicar razão e aprofundar o conhecimento da realidade, também pode ser classificada como descritiva, pois além de descrever as características de um determinado fenômeno, estabelece relação entre as variáveis (GIL, 2002).

Na Figura 3 é possível analisar a trajetória lógica que a pesquisa pretende seguir.



**Figura 3: Etapas da pesquisa**  
**Fonte: Autoria própria, 2015.**

## 5.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

- Concreto (fornecido pela empresa voluntária);
- Corpos de prova cilíndricos de aço (20 cm de altura e 10 cm de diâmetro);
- Haste de aço;
- Luvas;
- Capacete;
- Espátula;
- Prensa mecânica;
- Prensa automática;
- Retífica mecânica;

## 5.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

### 5.2.1 Moldagem de corpos de provas cilíndricos

Com base na norma ABNT NBR 5738 (2015) para o procedimento de moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto esclarece que não se caracteriza para concretos com abatimento igual a zero (0) ou misturas secas. Os moldes cilíndricos devem ter a altura igual a duas vezes o seu diâmetro. As laterais e a base do molde devem ser em aço ou de material não absorvente resistente e que não reaja com o cimento portland. O molde deve ser aberto em cima e de fácil desmoldagem sem risco de danificar o corpo de prova, é necessário também a estanqueidade do mesmo. Aconselha-se o controle da geometria do molde de forma a evitar imperfeições. A haste utilizada para o adensamento deve ser de aço, lisa, diâmetro de  $16 \pm 0,2$  mm e comprimento entre 600 mm e 800 mm, com uma ou duas extremidades semi-esféricas.

O procedimento de moldagem consiste em verificar as dimensões dos corpos de prova inicialmente e conferir se a dimensão básica do corpo de prova é de no mínimo 3 vezes maior que a dimensão máxima do agregado graúdo do concreto. Antes de executar a moldagem dos corpos de prova é necessário a aplicação de uma fina camada de lubrificante no interior do molde. Na deposição do concreto no molde

aconselha-se distribuir de forma uniforme e com o auxílio da haste nivelar o concreto antes do início do adensamento. Para a escolha do método de adensamento segue-se a recomendado da Tabela 11 e para definir o número de camadas e golpes verifica-se na Tabela 11(ABNT NBR 5738, 2015).

Classe	Abatimento (mm)	Método de adensamento
S10	$10 \leq A < 50$	Mecânico
S50	$50 \leq A < 100$	Mecânico ou manual
S100	$100 \leq A < 160$	
S160	$160 \leq A < 220$	Manual
S220	$A \geq 220$	

NOTA: Em concretos especiais pode-se modificar ou simular o método de adensamento a ser empregado em obra.

**Tabela 11: Classes de consistência**  
**Fonte: NBR 5738, 2015.**

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	0	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 <sup>2</sup>	3	-	-

<sup>1</sup> Em abatimentos superior a 160 mm, a quantidade de camadas reduz pela metade estabelecida nesta tabela. E em caso de o número de camadas resultat em fração, arredonda-se para o inteiro mais próximo.

<sup>2</sup> Em dimensão básica de 450 mm, o adensamento pertido é mecânico.

**Tabela 12: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova**  
**Fonte: NBR 5738, 2015.**

No adensamento manual introduz-se o concreto no molde em camadas com o mesmo volume e adensa-se cada volume de forma a ser penetrado em toda sua altura utilizando a haste, sem golpear a base, o número de golpes é estabelecido pela Tabela 12. Os golpes devem ser distribuídos uniforme em toda seção transversal do molde.

Para as outras camadas repetir o mesmo processo podendo penetrar aproximadamente 20 mm da camada inferior. Bater levemente nas faces dos molde de forma a evitar possíveis vazios. E na última camada deve ser moldada com quantidade em excesso de concreto de forma que seja possível executar o rasamento eliminando o excesso de material. Não é permitido completar o volume após o adensamento (ABNT NBR 5738, 2015).

Antes do ensaio de compressão axial, é importante preparar a base do corpo de prova tornando-o plano e perpendicular ao seu eixo longitudinal. Pode ser preparada através da retificação ou capeamento da base. A retificação é a remoção de uma camada fina de material da base por meio mecânico. Esta operação ocorre por meio de uma máquina abrasiva específica para este serviço. Esse processo garante uma superfície lisa e sem ondulações e a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida. Deve-se evitar falhas na planície da superfície que possa interferir na resistência do concreto. O capeamento, diferente da retificação, consiste em revestir o topo do corpo de prova com uma camada fina de material que deve atender os seguintes requisitos: aderência, compatibilidade química, fluidez, acabamento liso e plano, resistência a compressão compatível com o do concreto que será ensaio. Com um dispositivo denominado capeador é possível garantir a perpendicularidade da superfície. A espessura do capeamento não deve ultrapassar 3 mm em cada face (ABNT NBR 5738, 2015).

### 5.2.2 Ensaio de resistência à compressão do concreto

A norma ABNT NBR 5739 (2007) esclarece o método de ensaio à compressão de corpos de provas cilíndricos e prescreve que os corpos de provas devem ser moldados atendendo a norma ABNT NBR 5738 (2015). Ainda estabelece que relação entre a altura e o diâmetro não pode ultrapassar 2,02 e em caso de relação inferior a 1,94 efetuar correções. Especifica que os corpos de provas devem ser mantido em câmara úmida até o dia do ensaio e antes da execução do mesmo devem ser preparadas as bases dos corpos seguindo a norma ABNT NBR 5738 (2015). E para a execução do ensaio em determinada idade deve ser levado em consideração a tolerância permitida como mostra a Tabela 13 a seguir.

Idade de ensaio (dias)	Tolerância permitida (h)
1	0,5
3	2
7	6
28	24
63	36
91	48
NOTA: Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação.	

**Tabela 13: Tolerância para idade de ensaio**  
**Fonte: NBR 5739, 2007.**

A norma ABNT NBR 5739 (2007) ainda prescreve antes do início do ensaio que o corpo de prova deve ser seco e limpo, e fixado no centro da máquina e na posição correta de ensaio, aplicando o carregamento de ensaio continuamente, sem choques e com velocidade de carregamento de  $0,45 \pm 0,15$  Mpa/s, quando houver ruptura o carregamento deve cessar e assim pode-se calcular a resistência a compressão com a Fórmula 18.

$$f_c = \frac{4.F}{\pi.D^2} \text{ (Fórmula 18)}$$

Onde:

$f_c$  é a resistência à compressão em Mega Pascal;

$F$  é a Força máxima em Newton;

$D$  é o diâmetro do corpo de prova cilíndrico em milímetros.

Em casos onde a relação entre a altura e o diâmetro é inferior à 1,94 multiplica-se a força ( $F$ ) pelo fator de correção da Tabela 14.

Relação h/d	2	1,75	1,5	1,25	1
Fator de correção	1	0,98	0,96	0,93	0,87
NOTA: Os índices correspondentes à relação h/d não indicada podem ser obtidos por interpolação linear com aproximação de centésimos.					

**Tabela 14: Fator de correção**  
**Fonte: NBR 5739, 2007.**

Valendo-se da norma ABNT NBR 5739 (2007) para a elaboração do relatório de ensaio de corpos de prova é necessário o número de identificação do corpo de prova, data de moldagem, idade do corpo-prova, data de ensaio, dimensão do corpo de prova, tipo de carregamento, tipo de máquina de ensaio e resultado da resistência à compressão com 3 dígitos significativo.

## 5.3 EXECUÇÃO DOS ESTUDOS

### 5.3.1 Estudo 1 – Determinação da resistência à compressão

Seguindo a instrução da norma ABNT NBR 5738 (2015), foram separados 9 corpos de prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e realizado a limpeza do mesmo, em seguida depositou-se o desmoldante na parede interna do molde. Com a amostra de concreto destinada pela empresa voluntária executou-se a moldagem dos 9 corpos de prova e seguindo a norma optou-se pelo adensamento manual, em duas camadas, com 12 golpes por camadas. Após o adensamento foi feito o rasamento na parte superior do corpo de prova. Com a idade de 1 dia, os corpos foram desmoldados e retificados para em seguida serem ensaiados à compressão simples em prensa mecânica no mesmo dia e depois nas idades de 5 dias e 28 dias.

### 5.3.2 Estudo 2 – Determinação do traço

Para realização desta etapa seguiu-se o estudo para determinação do traço de concreto ideal utilizando as instruções do método de dosagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Adotando-se um valor para a relação água/materiais secos e teor de argamassa fixos, e escolheu um valor de relação água/cimento alto, para através das equações de comportamento encontrar um traço pobre. A partir deste traço inicial pode-se encontrar um traço rico e um traço intermediário. E encontrando-se os valores de resistência desses traços plota-se o gráfico da resistência em função da relação água/cimento para escolher o traço que melhor se enquadre na necessidade de projeto.

Para realizar a estimativa do traço utilizou-se as Fórmulas 19, 20, 21 e 22.

$$H = \frac{M_{\text{água}}}{M_{\text{seca}}} = \frac{C_{\text{água}}}{C_{\text{cimento}} + C_{\text{areia}} + C_{\text{brita}}} = \frac{a/c}{1+m} \quad (\text{Fórmula 19})$$

$$a/c = \frac{H \cdot (m+1)}{100} \quad (\text{Fórmula 20})$$

$$\alpha = \frac{(a+1) \cdot 100}{m+1} \quad (\text{Fórmula 21})$$

$$m = a + b \quad (\text{Fórmula 22})$$

Onde:

$a/c$  é a relação água/cimento;

$H$  é a relação água/materiais secos;  
 $\alpha$  é o teor de argamassa seca;  
 $m$  é a relação agregados/cimento;  
 $a$  é a relação agregado miúdo/cimento;  
 $b$  é a relação agregado graúdo/cimento.

Traço

Traço unitário =  $1 : a : b : x$

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para a apresentação dos dados dividiu-se em amostras de acordo com a norma ABNT NBR 12655 (2006), que especifica que devem ser coletadas de forma aleatória durante a concretagem, formando 1 exemplar composto de 2 corpos de prova da mesma betonada, e considera-se o maior valor de resistência entre os 2 corpos de prova. Nas tabelas a seguir são apresentados os valores de resistência à compressão apresentados pelos exemplares, os quais foram obtidos para as idades de 1 dia, 5 dias e 28 dias.

#### 6.1.1 Exemplares com resistência à compressão na idade de 1 dia

Data	Resistência dos exemplares (MPa)		Maior resistência dos exemplares (MPa)
23/09/2015	8,99	<b>9,74</b>	9,74
07/10/2015	<b>9,99</b>	9,74	9,99
08/10/2015	4,99	4,99	4,99
21/10/2015	<b>10,24</b>	10,11	10,24
28/10/2015	5,49	<b>5,74</b>	5,74
04/11/2015	8,49	<b>8,57</b>	8,57
11/11/2015	4	<b>4,74</b>	4,74
18/11/2015	10,49	<b>10,74</b>	10,74
17/03/2016	7,49	<b>7,99</b>	7,99
31/03/2016	5,74	<b>6,49</b>	6,49
07/04/2016	<b>7,74</b>	6,99	7,74
14/04/2016	5,99	5,99	5,99
12/05/2016	7,24	7,24	7,24
Sd	2,07	fcm	7,7
	Cve	3,92	

**Tabela 15: Resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 1 dia em MPa**  
Fonte: Autoria própria, 2016.

### 6.1.2 Exemplares com resistência à compressão na idade de 5 dias

Data	Resistência dos exemplares (MPa)		Maior resistência dos exemplares (MPa)
23/09/2015	13,49	13,49	13,49
07/10/2015	12,24	<b>12,36</b>	12,36
08/10/2015	12,49	12,49	12,49
14/10/2015	<b>19,98</b>	17,48	19,98
21/10/2015	22,48	<b>22,73</b>	22,73
28/10/2015	<b>13,98</b>	12,36	13,98
04/11/2015	19,98	<b>20,60</b>	20,6
11/11/2015	<b>18,48</b>	17,48	18,48
Sd	4,14	fcm	16,23
	Cve	3,7	

**Tabela 16: Resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 5 dias**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**

### 6.1.3 Exemplares com resistência à compressão na idade de 28 dias

23/09/2015	<b>25,35</b>	23,72	25,35
07/10/2015	22,48	<b>20,60</b>	22,48
08/10/2015	25,35	<b>26,22</b>	26,22
14/10/2015	<b>22,35</b>	21,23	22,35
21/10/2015	26,47	<b>32,47</b>	32,47
28/10/2015	<b>17,48</b>	16,23	17,48
04/11/2015	24,47	<b>27,60</b>	27,6
10/03/2016	23,47	<b>24,97</b>	24,97
17/03/2016	20,98	<b>21,48</b>	21,48
31/03/2016	18,73	<b>23,72</b>	23,72
07/04/2016	<b>20,98</b>	20,64	20,98
14/04/2016	19,98	<b>20,48</b>	20,48
28/04/2016	<b>21,48</b>	21,23	21,48
12/05/2016	29,72	<b>29,97</b>	29,97
19/05/2016	21,23	<b>21,48</b>	21,48
02/06/2016	<b>19,98</b>	18,73	19,98
Sd	3,92	fcm	22,41
	Cve	6,35	

**Tabela 17: Resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 28 dias**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**

## 6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Analisando-se os resultados da resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 1 dia, 5 dias e 28 dias de idade, pode-se constatar grande variabilidade. Esta pode ser explicada pela falta de controle da relação água/cimento, ausência da correção do traço em função da umidade dos agregados e utilização de diferentes tipos de cimentos na produção do concreto.

Além disso, sabe-se que a taxa de hidratação do concreto depende também da maturidade, dessa forma, deve-se considerar que os concretos foram feitos em dias diferentes, com diferentes amplitudes térmicas, portanto, não se pode descartar que os concretos tenham diferentes maturidades e conseqüentemente diferentes resistências.

Como quantidade de dados disponíveis é pequena emprega-se a distribuição t de Student, considerada a mais apropriada para esses casos. A estimativa da resistência característica dos concreto para as diferentes idades são calculados adotando-se a Fórmula 23, que é resultante da distribuição de t Student.

$$f_{ck} = f_{cm} - t_{(n-1),(0,05)} \cdot Sd \text{ (Fórmula 23)}$$

### 6.2.1 Exemplares com 1 dia de idade

$$n = 13;$$

$$t_{(n-1),(0,05)} = 1,782 \text{ (valor encontrado na tabela t student);}$$

$$f_{cm} = 7,7 \text{ MPa;}$$

$$Sd = 2,05 \text{ MPa.}$$

Aplicando a fórmula 21 encontra-se o  $f_{ck}$  para 1 dia de 4,05 MPa.

Segundo a norma ABNT 9062 (2006) – projeto e execução de estruturas pré-moldadas estabelece que o mínimo de resistência para peças sem função estrutural é de 15 MPa, nesse caso pode-se concluir que o içamento ocorre em situação que a peça não fornece função estrutural. Nesse caso, é necessário que resista a 15 MPa para ser içada. Na empresa as peças são içadas com 1 dia de idade, portanto como o  $f_{ck}$  encontrado é abaixo de 15 MPa, veta-se a possibilidade de içamento para esta idade.

## 6.2.2 Exemplares com 5 dia de idade

$$n = 8;$$

$$t_{(n-1),(0,05)} = 1,895 \text{ (valor encontrado na tabela t student);}$$

$$f_{cm} = 16,23 \text{ MPa;}$$

$$Sd = 4,14 \text{ MPa.}$$

Aplicando a fórmula 21 encontra-se o  $f_{ck}$  para 5 dias de 8,38 MPa.

Assim como na situação de 1 dia veta-se a possibilidade de içamento para a idade de 5 dias, pois o  $f_{ck}$  encontrado é de 8,38 MPa, abaixo de 15 MPa que é estabelecido pela norma ABNT NBR 9062 (2006) – projeto e execução de estruturas pré-moldadas.

## 6.2.3 Exemplares com 28 dias de idade

$$n = 16;$$

$$t_{(n-1),(0,05)} = 1,753 \text{ (valor encontrado na tabela t student);}$$

$$f_{cm} = 22,41 \text{ MPa;}$$

$$Sd = 3,92 \text{ MPa.}$$

Aplicando a fórmula 21 encontra-se o  $f_{ck}$  para 28 dias de 16,89 MPa.

Para a idade de 28 dias as peças podem ser içadas visto que o  $f_{ck}$  é maior que 15 MPa que é estabelecido pela norma ABNT NBR 9062 (2006) – projeto e execução de estruturas pré-moldadas.

Porém não cumpre com a norma ABNT NBR 6118 (2014) – projeto de estruturas de concreto, que limita o  $f_{ck}$  das estruturas de concreto armado e protendido de acordo com a classe de agressividade ambiental. Na tabela o valor mínimo de  $f_{ck}$  é de 20 MPa.

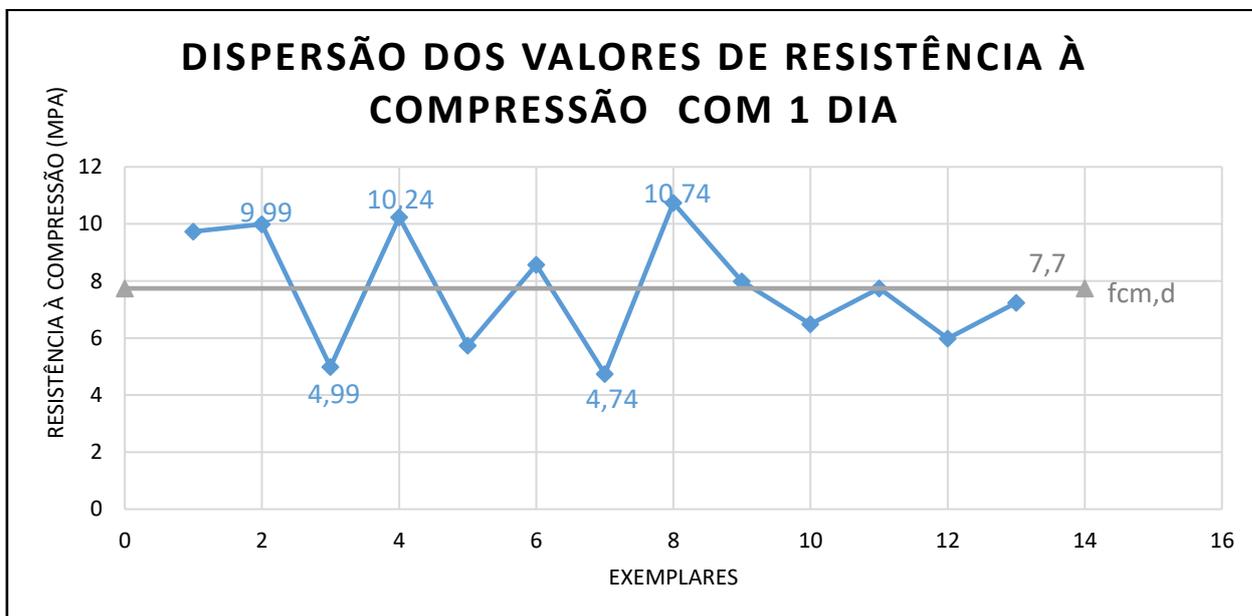
É possível determinar a resistência característica média ( $f_{cm}$ ) em função do  $f_{ck}$  de 20 MPa utilizando a Fórmula 24 proviente da norma ABNT NBR 12655 (2006) – concreto de cimento portland (preparo, controle e recebimento).

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,65 * Sd \text{ (Fórmula 24)}$$

Aplicando a Fórmula 24 encontra-se um  $f_{cm}$  de 26,47 MPa.

## 6.3 CONTROLE DE PRODUÇÃO DO CONCRETO

### 6.3.1 Carta de valores individuais da resistência à compressão na idade de 1 dia



**Figura 4: Carta dos valores de resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 1 dia**  
Fonte: Autoria própria, 2016.

A Figura 4 contempla a disposição dos valores adquiridos nos ensaios de resistência à compressão para a idade de 1 dia presente na Tabela 15. Pode-se, observar que há grande dispersão entre resultados comparados com a resistência característica média das amostras, as quais apresentam amplitude de 6 MPa entre o maior valor e o menor valor e coeficiente de variação de 3,92 MPa.

O coeficiente de variação ( $C_{ve}$ ) encontrado dentro do ensaio é de 3,92 MPa, que é enquadrado no nível 2 (muito bom) pela norma ABNT NBR 5739 – concreto (ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos).

### 6.3.2 Carta de valores individuais da resistência à compressão na idade de 5 dias

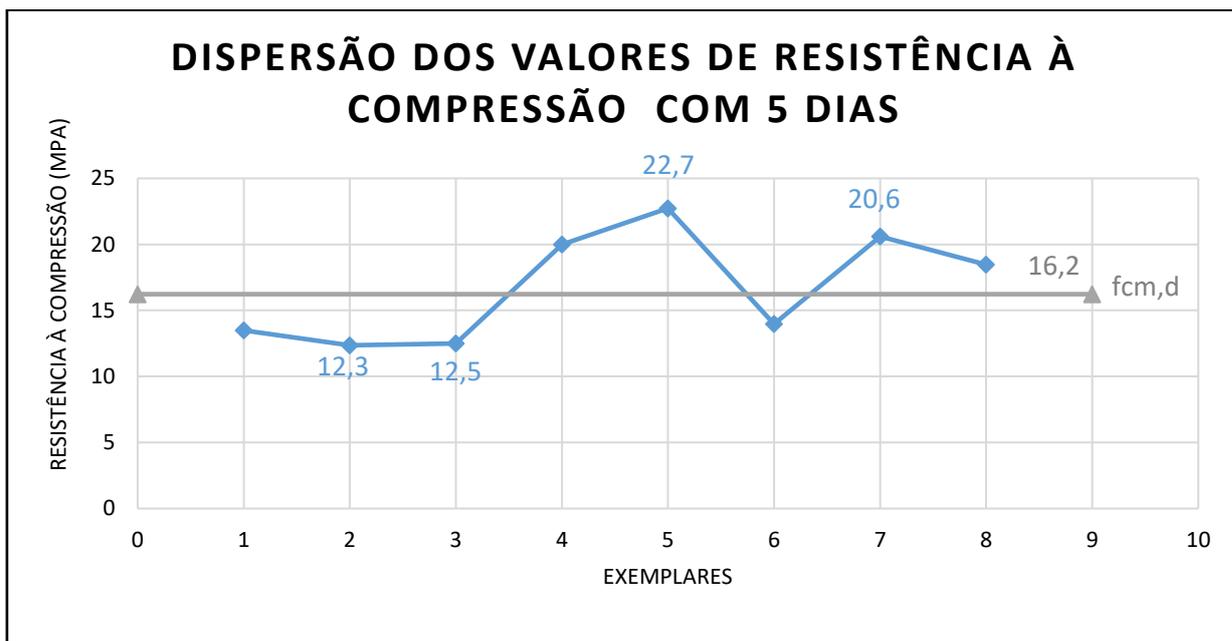


Figura 5: Carta dos valores de resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 5 dias  
Fonte: Autoria própria, 2016.

A Figura 5 demonstra a distribuição dos resultados coletados através dos ensaios de resistência à compressão aos 5 dias encontrado na Tabela 16. Destacar-se que há variabilidade nos resultados em função da resistência média da amostra e apresentando amplitude de 12,4 MPa entre o maior e menor resultado.

O coeficiente de variação ( $C_{ve}$ ) encontrado dentro do ensaio é de 3,71 MPa, que é enquadrado no nível 2 (muito bom) pela norma ABNT NBR 5739 – concreto (ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos).

### 6.3.3 Carta de valores individuais da resistência à compressão na idade de 28 dias

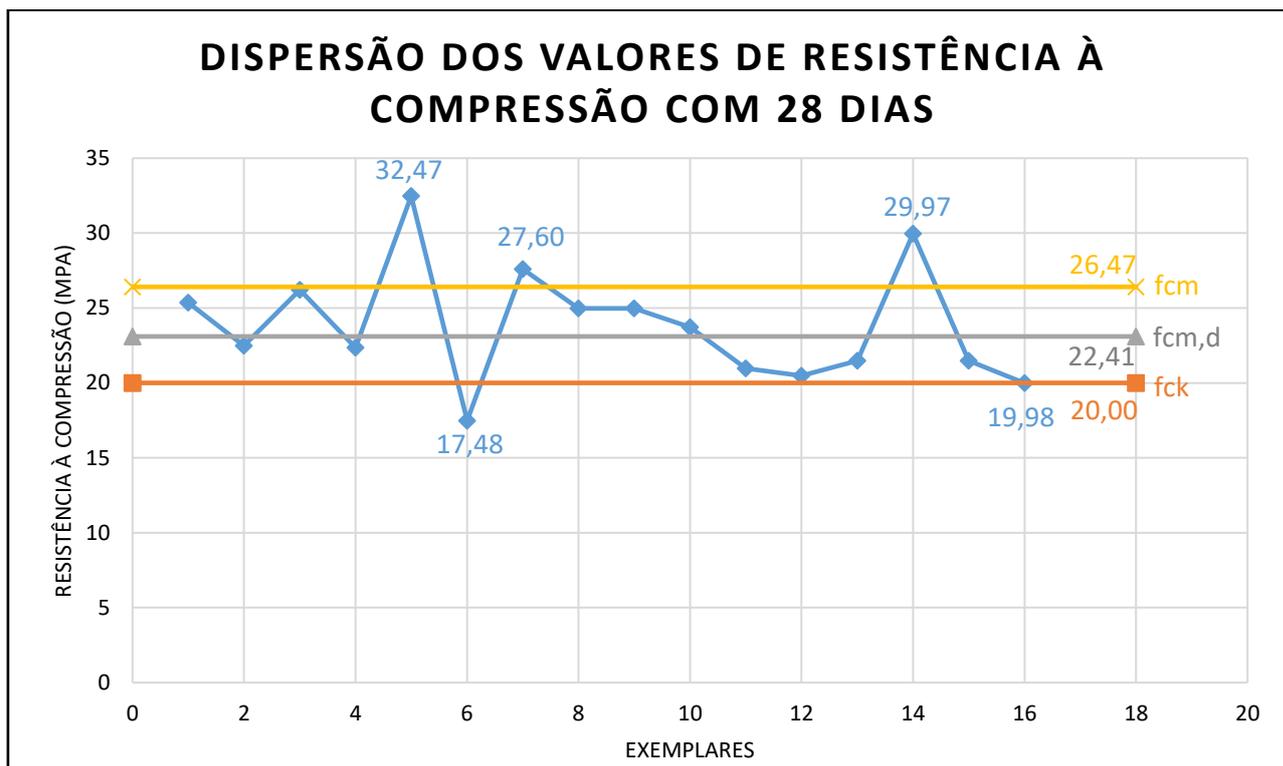


Figura 6: Carta dos valores de resistência à compressão dos exemplares ensaiados com 28 dias

Fonte: Autoria própria, 2016.

Na Figura 6 apresenta-se os resultados coletados por meio de ensaios de resistência à compressão aos 28 dias da Tabela 17. É possível destacar-se que existe dispersão dos valores entre si, há 2 exemplares abaixo da resistência característica de projeto ( $f_{ck}$ ) e apenas 3 valores de resistência estão acima da resistência média de projeto. Ainda pode-se observar que a amplitude é de 14,99 MPa entre a maior e menor resultado de resistência.

O coeficiente de variação ( $C_{ve}$ ) encontrado dentro do ensaio é de 6,35 MPa, que é enquadrado no nível 5 (deficiente) pela norma ABNT NBR 5739 – concreto (ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos).

### 6.2.4 Diagrama da evolução da resistência à compressão das amostras de concreto em função da idade

Inicialmente é necessário entender o efeito que a relação água/cimento tem no ganho de resistência do concreto, dessa forma, remete-se a Lei de Abrams que enuncia que a resistência do concreto é inversamente proporcional à relação

água/cimento. Dessa forma, pode-se observar que fatores como a falta do controle na relação água/cimento, utilização de diferentes categorias de cimento e temperatura de cura do concreto tem influência na evolução da resistência do concreto.

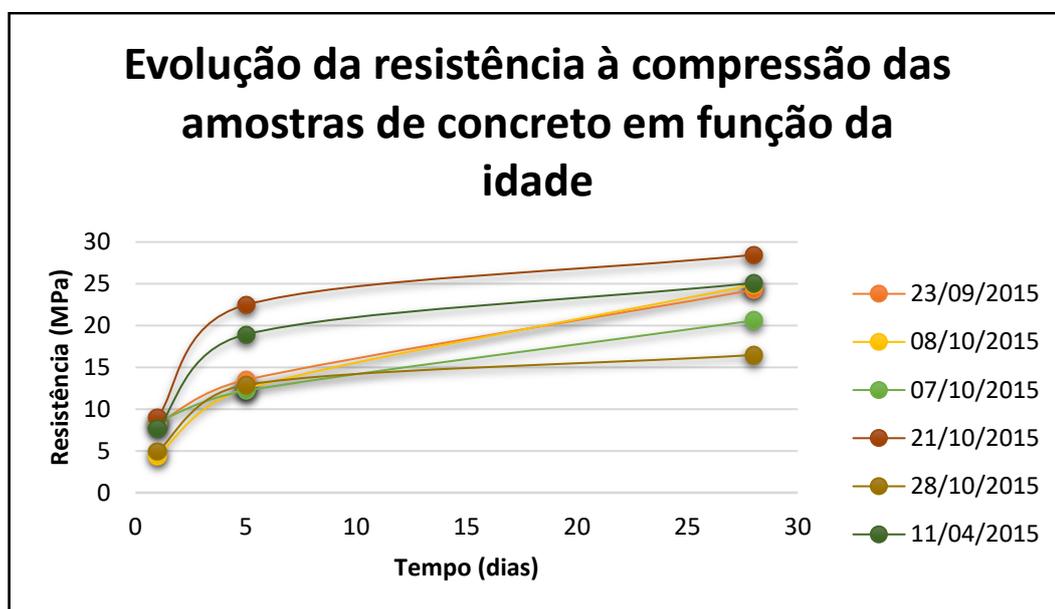


Figura 7: Evolução dos valores de resistência à compressão dos exemplares de acordo com a idade

Fonte: Autoria própria, 2016.

A Figura 7 demonstra a evolução da resistência do concreto confeccionado em diferentes datas. Observou-se que as amostras não seguem o mesmo padrão de curva. Com esses resultados procurou-se encontrar os fatores responsáveis pela disparidade de resultados para confirmar as hipóteses apresentadas anteriormente.

## 6.3 FATORES DE INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE CONFECÇÃO DO CONCRETO

### 6.3.1 Controle do traço

Mehta e Monteiro (1994) destacam a importância do proporcionamento dos materiais usados na confecção de concreto visto que objetivam menor custo, resistência e durabilidade. Nesse contexto, a utilização de um traço incompleto compromete o valor de resistência almejado. O controle da relação água/cimento se tornando importante para a resistência final como é destacado pela Ibracon (2011) ao

citar a Lei de Abrams que observa que a resistência do concreto é inversamente proporcional a relação água/cimento.

PILAR			
Agregado	Normal	Metade	1 Terço
Areia Preta	290	130	65
Pedra	460	240	120
Areia Branca	290	105	58
Cimento	3 Sacos	1,5 Saco	0,75 saco

PLACA PÉ E VIGOTE			
Agregado	Normal	Metade	1 Terço
Areia Preta	170	85	43
Pedrisco	460	230	115
Areia Branca	380	190	95
Cimento	3.5 sacos	2 sacos	1 saco

PLACA			
Agregado	Normal	Metade	1 Terço
Areia Preta	220	110	55
Pedra	510	255	128
Areia Branca	290	145	73
Cimento	3 SACOS	1.5 SACOS	0,75 SACOS

**Figura 8: Traço usado na empresa voluntária**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**

O traço utilizado pela empresa voluntária é antigo, e não há acervo do responsável pelo cálculo do traço, nem dados sobre método de aquisição do traço, e ainda é possível constatar a ausência de relação água/cimento como pode ser observado na Figura 8. Ainda é possível constatar que são apresentados diferentes traços para a produção dos elementos estruturais que além da ausência de relação água/cimento não apresentam a quantidade de aditivo. Sabendo-se que o traço é o principal meio de controlar a quantidade de material a ser utilizado, ousa-se destacar que esse procedimento é o principal responsável na dispersão dos valores de resistência coletados.

### 6.3.2 Controle dos materiais

Em norma é especificado que o depósito destinado ao armazenamento dos agregados deve ser construído de maneira tal que evite o contato com o solo e impeça a contaminação com outros sólidos ou líquidos prejudiciais ao concreto (ABNT NBR 12655, 2006). As Figuras 9 e 10 expõem a situação do abrigo destinado aos agregados.



**Figura 9: Abrigo destinados aos agregados**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**



**Figura 10: Silo de deposição dos agregados**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**

É possível averiguar que as instalações de depósito dos agregados não oferecem eficiência em evitar a absorção da umidade do ambiente.



**Figura 11: Agregado miúdo (Areia natural)**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**



**Figura 12: Agregado miúdo (Areia de britagem)**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**

Verificou-se a dificuldade em controlar o teor de umidade absorvido pelo materiais. As Figuras 11 e 12 demonstram visualmente o estado de umidade dos materiais que foram comprovados por meio de ensaio de determinação do teor de umidade pelo método da estufa apresentado na Tabela 18. Nesse caso, destaca-se a importância de determinar a umidade dos agregados para correção do traço de forma que não altere a relação água/cimento de dosagem.

Data	Areia natural			Areia de britagem		
	Massa 1	Massa 2	Teor de umidade	Massa 1	Massa 2	Teor de umidade
25/10/2016	111	108,3	<b>2,49</b>	110	107,7	<b>2,14</b>
01/11/2016	103,087	100,167	<b>2,92</b>	138,527	135,966	<b>1,88</b>
04/11/2016	112,75	110,761	<b>1,80</b>	110,628	108,704	<b>1,77</b>
08/11/2016	106,88	99,945	<b>6,94</b>	123,14	119,856	<b>2,74</b>
11/11/2016	83,479	80,986	<b>3,08</b>	80,617	79,369	<b>1,57</b>
18/11/2016	110,002	107,809	<b>2,03</b>	163,973	159,262	<b>2,96</b>
22/11/2016	112,392	111,024	<b>1,23</b>	128,518	124,482	<b>3,24</b>

**Tabela 18: Teor de umidade dos agregados**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**

A norma ABNT NBR 12655 (2006) que trata sobre a produção, controle e recebimento do concreto afirma que o tipo de cimento deve ser especificado levando-se em consideração detalhes arquitetônicos e executivos, a aplicação do concreto, o calor de hidratação do cimento, as condições de cura, as dimensões da estrutura e as condições de exposição naturais ou peculiares de trabalho da estrutura.



**Figura 13: Cimento Portland V-ARI (Itambé)**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**



**Figura 14: Cimento Portland II – Z – 32 (Votoran)**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**

Foi verificado, como mostra as Figuras 13 e 14, a ausência de regularidade na utilização do tipo cimento e da marca. Sendo eles, o cimento CP V – ARI e CP II – Z – 32 e as marcas comumente usadas são votoran ou itambé.

### 6.3.3 Controle de trabalhabilidade

A Ibracon (2011) relata que a trabalhabilidade dos concretos devem ser adequadas a situações específicas, condicionadas pelo projeto arquitetônico e estrutural, tipo equipamento escolhido para o transporte, tipo de acabamento desejado e condições ambientais. Neville (1997) explica que a trabalhabilidade tem influência no adensamento do concreto que se torna importante pois há estudos que relacionam o adensamento com a resistência resultante do concreto. Dessa forma, as variações da trabalhabilidade presente no processo produtivo do concreto contribuem com a dispersão dos valores resistência coletados.



**Figura 15: Concreto produzido pela empresa**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**



**Figura 16: Concreto produzido pela empresa**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**

Nas amostras coletadas do concreto fornecido pela empresa voluntária observou a variação da trabalhabilidade em diferentes dias podendo ser demonstrados nas Figuras 15 e 16.

#### 6.3.4 Controle da cura

A norma ABNT NBR 14931 (2004), explica que agentes como mudança de temperatura brusca, secagem, água torrencial, agentes químicos, choques e vibrações podem originar e também prejudicar a aderência da armadura no concreto. Nesse caso é aconselhável garantir uma cura apropriada para o concreto enquanto este não atinge o endurecimento satisfatório.



**Figura 17: Elemento pré-moldado no estado fresco**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**



**Figura 18: Elemento pré-moldado no estado endurecido**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**



**Figura 19: Estoque de elementos pré-moldados**  
**Fonte: Autoria própria, 2016.**

O concreto lançado na forma não possui capa para impedir a perda de água pela superfície exposta mostrado nas Figuras 17 e 18. E a Figura 19 se refere ao depósito das peças de concreto pré-moldado após a demoldagem.

#### 6.4 CÁLCULO DE DOSAGEM DO TRAÇO DE CONCRETO

Esse segundo estudo é uma proposta com o objetivo de melhorar o processo produtivo do concreto confeccionado pela empresa voluntária, visto que foi detectado a ausência de estudo e informações à respeito do traço. O estudo para determinação do traço de concreto ideal baseou-se nas instruções do método de dosagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Os cálculos dos traços foram feitos utilizando as Fórmulas 19, 20, 21 e 22 apresentadas no método de pesquisa.

$$H = \frac{M_{\text{água}}}{M_{\text{seca}}} = \frac{C_{\text{água}}}{C_{\text{cimento}} + C_{\text{areia}} + C_{\text{brita}}} = \frac{a/c}{1+m} \quad (\text{Fórmula 19})$$

$$a/c = \frac{H \cdot (m+1)}{100} \quad (\text{Fórmula 20})$$

$$\alpha = \frac{(a+1) \cdot 100}{m+1} \quad (\text{Fórmula 21})$$

$$m = a + b \quad (\text{Fórmula 22})$$

##### Traço 1

Relação  $a/c = 0,42$ ,  $H = 8,5\%$ ,  $\alpha = 52\%$ ,  $m = 3,94$ ,  $a = 1,57$ ,  $b = 2,37$ .

Traço unitário = 1:1,57:2,37:0,42

##### Traço 2

Relação  $a/c = 0,50$ ,  $H = 8,5\%$ ,  $\alpha = 52\%$ ,  $m = 4,65$ ,  $a = 1,94$ ,  $b = 2,71$ .

Traço unitário = 1:1,94:2,71:0,50

##### Traço 3

Relação  $a/c = 0,56$ ,  $H = 8,5\%$ ,  $\alpha = 52\%$ ,  $m = 5,59$ ,  $a = 2,43$ ,  $b = 3,16$ .

Traço unitário = 1:2,43:3,16:0,56

#### Traço 4

Relação  $a/c = 0,65$ ,  $H = 8,5\%$ ,  $\alpha = 52\%$ ,  $m = 6,65$ ,  $a = 2,98$ ,  $b = 3,67$ .

Traço unitário = 1:2,98:3,67:0,65

Para a dosagem dos 4 traços de concreto foi feita a separação de cada material (cimento, areia natural, areia de britagem, brita 1 e água), destacando que a quantidade de areia natural e areia de britagem utilizada foi de 50% cada. O processo de confecção do concreto prosseguiu de forma que a brita 1 e a água foram depositados na betoneira e misturados, em seguida foi acrescentado o cimento para finalizar com a adição das areias (natural e de britagem). Após a homogeneização dos material interrompeu-se a agitação para verificação do abatimento através do método Slamp Test. Quando respeitavam o limite de abatimento de 10 +/- 2 mm executava-se a moldagem dos corpos de prova. Após 1 dia os corpos de provas foram desmoldados e colocados em tanques para a cura submersa em água com cal.

#### 6.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO TRAÇO DOSADO

Os corpos de prova foram ensaiados pelo método de resistência à compressão nas idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias.

##### 6.5.1 Valores de resistência à compressão

Relação água/cimento	Resistência à compressão (MPa)		
	3 dias	7 dias	28 dias
<b>0,42</b>	26,66	35,85	44,81
<b>0,50</b>	23,53	32,38	39,77
<b>0,56</b>	20,39	29,24	37,36
<b>0,65</b>	16,80	25,88	35,09

**Tabela 19: Resistência à compressão de dosagem, relação água/cimento em diferentes idades**

**Fonte: Autoria própria, 2016.**

### 6.5.2 Gráfico da Lei de Abrams para as idades de 3, 7 e 28 dias

Com os valores encontrados de resistência à compressão em função a relação água/cimento e a idade foi plotado o gráfico encontrado na Figura 20.

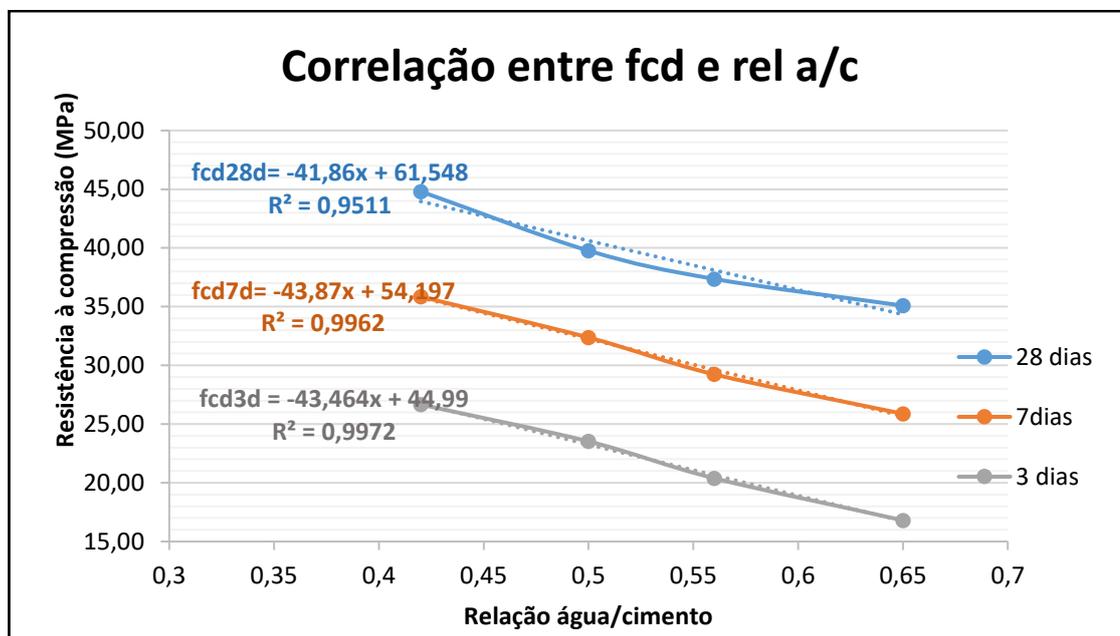


Figura 20: Gráfico da resistência à compressão e relação água/cimento para cada idade  
Fonte: Autoria própria, 2016.

A Lei de Abrams explica que para um conjunto particular de materiais, a resistência do concreto é inversamente proporcional a relação água/cimento. A Figura 20 demonstra exatamente a Lei Abrams para os traços calculados anteriormente no Item 6.3 deste trabalho. Portanto, com esse gráfico é possível encontrar o traço exato para atender a resistência à compressão característica de projeto ( $f_{ck}$ ).

### 6.5.2 Traço recomendado

Para encontrar o traço correspondente que respeite a norma ABNT 9062 (2006) – projeto e execução de estruturas pré-moldadas estabelece que o mínimo de resistência para peças sem função estrutural é de 15 MPa para a realização do içamento. É possível determinar a resistência característica média ( $f_{cm}$ ) em função do  $f_{ck}$  de 15 MPa e utilizando a fórmula 22 proviente da norma ABNT NBR 12655 (2006) – concreto de cimento portland (preparo, controle e recebimento).

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,65 * Sd \text{ (Fórmula 24)}$$

Aplicando a Fórmula 24 encontra-se um  $f_{cm}$  de 21,42 MPa. Para encontrar o traço recomendado baseia-se na resistência característica média ( $f_{cm}$ ) substituindo na Fórmula 25 proveniente da Figura 20, correspondente a idade de 3 dias de forma a garantir o içamento das peças pré-moldadas de forma antecipada.

$$y = -43,464 \cdot x + 44,99 \text{ (Fórmula 25)}$$

Onde:

$y$  é  $f_{cm}$  em MPa;

$x$  é relação  $a/c$ .

Dessa forma encontra-se um valor de relação água/cimento igual a 0,55.

#### Sugestão de Traço

$a/c = 0,55$ ,  $H = 8,5\%$ ,  $\alpha = 52\%$ ,  $m = 5,47$ ,  $a = 2,36$ ,  $b = 3,11$ .

Traço unitário = 1:2,36:3,11:0,55

## 7. CONCLUSÃO

Após análise e tratamento dos resultados obtidos de resistência à compressão do concreto, nas idades de 1 dia, 5 dias e 28 dias, bem como da análise da dispersão dos resultados, expressos pela carta de valores individuais, desvio padrão e coeficiente de variação. Foi possível concluir que o concreto produzido pela empresa voluntária não atende há algumas especificações estabelecidas pelas normas ABNT NBR 12655 (2006) – concreto de cimento portland – preparo, controle e recebimento – procedimento, ABNT NBR 12654 (1992) – execução de estruturas de concreto – Procedimento, ABNT NBR 9062 (2006) – projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, ABNT NBR 6118 (2014) – projeto de estruturas de concreto – procedimento e ABNT NBR 14931 (2004) – execução de estruturas de concreto – procedimento.

No que se refere a não conformidade com a norma ABNT NBR 12655 (2006), constatou-se que é possível corrigir o traço do concreto em relação a absorção de umidade dos agregados miúdos. verificou-se também que o traço do concreto confeccionado não é corrigido em função do teor de umidade dos agregados.

Em relação ao atendimento dos requisitos impostos pela norma ABNT NBR 6118 (2014), observou-se que a resistência característica estimada ( $f_{ck,est}$ ) do concreto na idade de 28 dias é inferior a 20 Mpa. Para ambientes com agressividade ambiental de classe I utiliza-se 20 MPa. Porém como se trata de estruturas de concreto pré-moldadas, não é possível prever o ambiente de destinação, dessa forma o recomendado seria cumprir a classe de agressividade ambiental de classe II que se refere a ambientes urbanos com riscos de deterioração pequeno.

Destaca-se também os conselhos da norma ABNT NBR 14931 (2004) que recomenda realizar a cura dos elementos em concreto pré-moldados de forma a evitar a perda de água pela superfície.

Os encaminhamentos da norma ABNT NBR 9062 (2006), determina o  $f_{ck}$  de 15 MPa para realização do içamento, porém a resistência característica estimada ( $f_{ck,est}$ ) para as idades de 1 dia e 5 dias é insuficiente para liberação dos elementos pré-moldados para içamento. E também a norma ABNT NBR 9062 (2006), veta a realização de dosagem do tipo não experimental.

Ao constatar a variação dos resultados procurou-se rastrear a possível origem. E verificou-se que o traço executado não é constante, também observou-se a ausência de controle quanto à categoria de cimento utilizado e a marca. Em relação ao controle dos materiais verificou-se que os agregados miúdos absorvem a umidade do ambiente, porém o traço não é corrigido de acordo com o teor de umidade dos agregados. E quanto ao controle da trabalhabilidade verificou-se a variação na consistência das amostras de concreto que podem ser consequência da falta de controle da relação água/cimento.

Dessa forma, como medida preventiva realizou-se um estudo de dosagem com o objetivo de auxiliar a empresa voluntária a obter melhor controle das quantidades de materiais a serem usados na confecção de concreto. Além disso, a empresa voluntária será aconselhada a incrementar alguns cuidados com o estoque de material e com a regularidade do tipo de cimento utilizado no traço, e adotar estratégias para melhorar o desempenho do concreto por meio de alguns cuidados no período de cura.

Portanto, observou-se que o processo produtivo de concreto da empresa voluntária apresenta algumas falhas e embora não esteja atendendo a alguns requisitos básicos de qualidade, a empresa voluntária demonstrou interesse em adequar-se para melhorar o produto que é ofertado no mercado. Apesar de a análise da qualidade avaliar apenas o processo de produtivo do concreto, é importante considerar que este tem influência no resultado final como mostra o estudo realizado por Milani, Boesind, Philippsen e Miotti (2012) que revelam algumas patologias decorrentes do processo produtivo de concreto em elementos pré-moldados.

Dentre as vantagens que este estudo proporcionou pode-se elencar o rastreamento de algumas deficiências presentes no processo de confecção do concreto e desconhecidas pelos responsáveis pela empresa, contribuição para o enriquecimento do conhecimento à respeito deste assunto que foi adquirido pela estudante que executou esse trabalho, além da oportunidade de acompanhar e entender os processos de fabricação industrial do concreto e funcionamento das etapas que regem esse procedimento.

## 8. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ARAÚJO, H. N.; MUTTI, C. DO N. **Análise da competitividade da indústria da construção civil a partir da teoria da firma no setor.** XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005\\_Enegep0706\\_0567.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005_Enegep0706_0567.pdf)> Acessado em: 05 de novembro de 2016.

ACKER, A. V. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto.** FIP, 2002. Disponível em: <<http://www.ft.unicamp.br/~cicolin/ST%20725%20A/mpf.pdf>> Acessado em: 08 de novembro de 2016.

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

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

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732: Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2006.

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

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 68: Concreto – determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff.** Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33: Concreto – Amostragem de concreto fresco.** Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** São Paulo, 2002.

\_\_\_\_\_. INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** Volume 1. São Paulo: Editor Geraldo C. Isaia, 2011.

\_\_\_\_\_. INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO. **Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo.** Disponível em: <[http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf)>. Acesso em: 21 de setembro de 2015.

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicadas às Ciências Sociais.** 7ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2010.

BRUNAUER, S.; COPELAND, L. E. **The Chemistry of Concrete.** Scientific American. 1964.

CALÇADA, P. DE A. B. **Estudo dos processos produtivos na construção civil objetivando ganhos de produtividade e qualidade.** Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011841.pdf>> Acessado em: 08 de novembro de 2016.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado.** São Carlos: Edufscar, 2013.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: Fundamentos e aplicações.** São Carlos: EESC-USP, 2000.

FERNANDES, E. M. da G. P. **Estatística Aplicada.** Universidade do Minho, Braga, 1999. Disponível em: <<http://www.norg.uminho.pt/emgpf/documentos/Aplicada.pdf>> Acessado em: 01 de dezembro de 2016.

FERREIRA, J. **A evolução no formato, cor e resistência nos últimos 100 anos.** O Estadão, 2011. Disponível em: <[http://www.oempreiteiro.com.br/Publicacoes/4642/A\\_evolucao\\_no\\_formato\\_cor\\_e\\_resistencia\\_nos\\_ultimos\\_100\\_anos\\_.aspx](http://www.oempreiteiro.com.br/Publicacoes/4642/A_evolucao_no_formato_cor_e_resistencia_nos_ultimos_100_anos_.aspx)>. Acesso em: 08 de março de 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

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

KIHARA, Y; VISEDO, G. **A indústria do cimento e o desenvolvimento do Brasil**. ABCP, 2014. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/a-industria-do-cimento-e-o-desenvolvimento-do-brasil/>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2016.

LONGO, R. M. J. **Gestão da qualidade: Evolução histórica, conceitos básicos e aplicação na educação**. Brasília: ANPEC, 1996. Disponível em : <[http://desafios2.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td\\_0397.pdf](http://desafios2.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_0397.pdf)> Acesso em: 14 de setembro de 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Estrutura, propriedades e materiais**. 1ª ed. São Paulo: PINI, 1994.

MILANI, C. J.; BOESING, R.; PHILIPPSEN, R. A.; MIOTTI, L. A. **Processo produtivo de elementos pré-moldados de concreto armado: detecção de manifestações patológicas**. São Paulo: RISCO, 2012. Disponível em: <[http://www.iau.usp.br/revista\\_risco/Risco15-pdf/02\\_art07\\_risco15.pdf](http://www.iau.usp.br/revista_risco/Risco15-pdf/02_art07_risco15.pdf)>. Acessado em: 06 de setembro de 2016.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C; HUBELE, N. F. **Estatística aplicada à engenharia**. São Paulo: LTC, 2004.

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

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PALACIOS, M. D. P. G. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto**. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) – Universidade de Brasília. Brasília, 2012.