

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MAYKON WEMERSON FERREIRA DO NASCIMENTO**

**RANEERE RAMOS GUEDES JUNIOR**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS ABCP E  
EPUSP/IPT DE DOSAGEM DE CONCRETO DE CIMENTO  
PORTLAND**

**ANÁPOLIS / GO  
2017**

**MAYKON WEMERSON FERREIRA DO NASCIMENTO  
RANEERE RAMOS GUEDES JUNIOR**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS ABCP E  
EPUSP/IPT DE DOSAGEM DE CONCRETO DE CIMENTO  
PORTLAND**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: ISA LORENA SILVA BARBOSA**

**ANÁPOLIS / GO: 2017**

## FICHA CATALOGRÁFICA

NASCIMENTO, MAYKON W. F. DO/ JUNIOR, RANEERE R. G.

Análise comparativa entre os métodos ABCP e EPUSP/IPT de dosagem de concreto de cimento Portland.

71P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. ABCP

3. Concreto

I. ENC/UNI

2. EPUSP/IPT

4. Método de dosagem

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NASCIMENTO, Maykon W. F. do; JUNIOR, Raneere R. G. Análise comparativa entre os métodos ABCP e EPUSP/IPT de dosagem de concreto de cimento Portland. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 0p. 2017.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Maykon Wemerson Ferreira do Nascimento

Raneere Ramos Guedes Junior

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise comparativa entre os métodos ABCP e EPUSP/IPT de dosagem de concreto de cimento Portland.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Maykon Wemerson F. do Nascimento

Maykon Wemerson F. do Nascimento

E-mail: maykon\_wf@hotmail.com

Raneere Ramos Guedes Junior

Raneere Ramos Guedes Junior

E-mail:guedes\_engcivil@outlook.com

**MAYKON WEMERSON FERREIRA DO NASCIMENTO  
RANEERE RAMOS GUEDES JUNIOR**

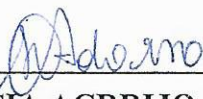
**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS ABCP E  
EPUSP/IPT DE DOSAGEM DE CONCRETO DE CIMENTO  
PORTLAND**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**



**ISA LORENA SILVA BARBOSA, Mestra (UniEvangélica)  
(ORIENTADORA)**



**ANA LÚCIA ACRIJO ADORNO, Doutora (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



**FABRÍCIO NASCIMENTO SILVA, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 01 de dezembro de 2017.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças e sabedoria para chegar até o fim dessa jornada. Agradeço aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado me dando apoio e incentivo para que fosse possível eu concluir minha faculdade, sem eles não seria possível realizar esse feito, obrigado por terem me ensinado todos os bons valores, que hoje levo comigo para onde quer que eu vá. A minha irmã, que sempre me ajudou desde o início, mesmo estando longe, contribuiu para que esse dia chegasse. Dedico também esse trabalho, a todos os professores da UniEvangélica, que sem os seus conhecimentos e ensinamentos, não seria possível ter um ótimo aprendizado. Enfim, agradeço todas as pessoas que fizeram parte dessa etapa decisiva em minha vida, familiares e amigos. Muito obrigado a todos.

Maykon Wemerson Ferreira do Nascimento

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado a glória de chegar até aqui e sempre ter me abençoado durante as minhas conquistas. Aos meus pais, por serem o meu alicerce, não deixando nunca desistir dos meus objetivos. Agradeço por terem me ensinado que a maior riqueza de uma pessoa são os estudos.

Raneere Ramos Guedes Junior

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de análise comparativa entre dois métodos de dosagem de concreto de cimento Portland. Inicialmente é feito um breve histórico sobre o concreto, apontando pontos importantes como o seu surgimento, o momento em que o concreto ganha prestígio na construção civil em relação aos demais materiais, até que se torne hoje o material mais utilizado em obras em todo o mundo. É citado os principais pesquisadores e estudos realizados neste seguimento, e como se deu o surgimento dos métodos ABCP e EPUSP/IPT, que são objetos de estudo neste trabalho. Os métodos ABCP e EPUSP/IPT, foram escolhidos para o desenvolvimento desta pesquisa, por serem referências no mercado de trabalho no Brasil. A descrição de cada método é feita de forma detalhada e bem explicativa, seguindo um roteiro de cálculo bem definido, apresentando os parâmetros e propriedades que definem cada um dos métodos. Em seguida é realizado um estudo individual de cada método, com estudo teórico e experimental, utilizando os mesmos materiais constituintes, com objetivo de determinar a melhor proporção da mistura, as principais características e propriedades do concreto, no estado fresco e endurecido, trabalhabilidade e resistência a compressão são as principais características a serem observadas e analisadas. Para maior riqueza de informação e entendimento do comportamento do concreto, consta também neste trabalho a caracterização de todos os materiais constituintes da mistura, realizada em estudos feitos em laboratório, seguindo todas as orientações técnicas exigidas pelas suas referidas normas. O estudo foi desenvolvido para concretos convencionais e usuais em obras, com resistência a compressão de 20, 25 e 30 Mpa e abatimento de  $60 \pm 10$  mm, todos os resultados foram obtidos por ensaios em laboratório, com auxílio de ferramentas e equipamentos devidamente adequados, os dois métodos de dosagem apresentou dentro de suas características e particularidades, resultados similares quanto a resistência a compressão e resultados diferentes em relação a trabalhabilidade.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Concreto. Dosagem de concreto. Método de dosagem. ABCP. EPUSP/IPT.

## **ABSTRACT**

This work presents a comparative study between two methods of dosing of Portland cement concrete. Initially a brief history is made about concrete, pointing out important points such as its emergence, the moment in which the concrete gains prestige in the civil construction in relation to the other materials, until today becomes the most used material in works around the world. It is pointed out the main researchers and studies carried out in this follow-up, and how the ABCP and EPUSP / IPT methods emerged, which are objects of study in this work. The ABCP and EPUSP / IPT methods were chosen for the development of this research, since they are references in the labor market in Brazil. The description of each method is detailed and very explanatory, following a well-defined calculation route, presenting the parameters and properties that define each of the methods. Then, an individual study of each method is carried out, with a theoretical and experimental study, using the same constituent materials, in order to determine the best mixing ratio, the main characteristics and properties of the concrete, in the fresh and hardened state, workability and strength are the main characteristics to be observed and analyzed. For the greater wealth of information and understanding of the behavior of the concrete, this work also includes the characterization of all the constituent materials of the mixture, carried out in studies done in a laboratory, following all the technical guidelines required by said standards. The study was developed for conventional and usual concretes in works, with compressive strength of 20, 25 and 30 Mpa and reduction of  $60 \pm 10$  mm, all the results were obtained by laboratory tests, with the aid of properly adapted tools and equipment, the two dosing methods presented, within their characteristics and particularities, similar results regarding the compressive strength and different results in relation to the workability.

### **KEYWORDS:**

Concrete. Concrete dosing. Method of dosing. ABCP. EPUSP/IPT.



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Curva de Abrams.....  | 25 |
| Figura 2 – Fluxograma de dosagem do método EPUSP/IP.....                     | 29 |
| Figura 3 – Diagrama de Dosagem .....   | 33 |
| Figura 4 - Amostra dos materiais utilizados no ensaio de granulometria ..... | 37 |
| Figura 5 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria da areia.....      | 37 |
| Figura 6 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria da brita.....      | 38 |
| Figura 7 - Diagrama de dosagem .....   | 48 |
| Figura 8 – Ensaio de abatimento (Slump test).....                            | 53 |
| Figura 9 – Corpos de prova .....   | 53 |
| Figura 10 – Cura do concreto câmara úmida.....                               | 54 |
| Figura 11 – Ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova .....     | 54 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Tipos de cimento Portland normatizados no Brasil.....                       | 18 |
| Quadro 2 – Exigências físico-mecânicas dos cimentos segundo as normas brasileiras..... | 19 |
| Quadro 3 – Exigências químicas dos cimentos segundo as normas brasileiras .....        | 19 |
| Quadro 4 – Classes de agressividade ambiental.....                                     | 21 |
| Quadro 5 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....  | 22 |
| Quadro 6 – Desvio-padrão $S_d$ .....   | 23 |
| Quadro 7 – Características dos materiais .....   | 40 |
| Quadro 8 – Relação água/cimento em função dos traços.....                              | 47 |
| Quadro 9 – Resultados do ensaio de resistência a compressão .....                      | 47 |
| Quadro 10 – Ensaio de resistência à compressão e abatimento (ABCP) .....               | 55 |
| Quadro 11 – Ensaio de resistência à compressão e abatimento (EPUSP/IPT).....           | 55 |
| Quadro 12 – Relação de custo dos materiais.....  | 56 |

## LISTA DE TABELA

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1– Abatimento do concreto em função ao elemento estrutural .....   | 23 |
| Tabela 2 – Consumo de água em função do diâmetro máximo do agregado e do abatimento da mistura (l/m <sup>3</sup> )..... | 26 |
| Tabela 3 – Volume compactado seco (Vc) do agregado graúdo por m <sup>3</sup> de concreto.....                           | 27 |
| Tabela 4 – Análise de granulometria da areia .....  | 38 |
| Tabela 5 - Análise de granulometria da brita 0 .....  | 39 |

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

|       |   |
|-------|---|
| ABCP  | Associação Brasileira de Cimento Portland       |
| ACI   | American Concrete Institute                     |
| NM    | Norma Mercosul                                  |
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas        |
| EPUSP | Escola Politécnica da Universidade de São Paulo |
| IPT   | Instituto de Pesquisas Tecnológicas             |
| NBR   | Norma Brasileira Regulamentadora                |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA.....  | 14        |
| 1.2 OBJETIVOS.....  | 14        |
| 1.2.1 <b>Objetivo geral .....</b>                                 | <b>14</b> |
| 1.2.2 <b>Objetivos específicos .....</b>                          | <b>14</b> |
| 1.3 METODOLOGIA.....  | 15        |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....                                    | 15        |
| <br>  |           |
| <b>2 CONCRETO .....</b>   | <b>17</b> |
| 2.1 HISTÓRICO.....  | 17        |
| 2.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO.....                                   | 17        |
| 2.2.1 <b>Cimento Portland brasileiro.....</b>                     | <b>18</b> |
| 2.2.2 <b>Agregados.....</b>                                       | <b>20</b> |
| <br>  |           |
| <b>3 DOSAGEM DE CONCRETO EXPERIMENTAL .....</b>                   | <b>21</b> |
| 3.1 REQUISITOS E CONDIÇÕES INICIAIS PARA DOSAGEM DO CONCRETO..... | 21        |
| 3.2 MÉTODO DE DOSAGEM ABCP.....                                   | 24        |
| 3.2.1 <b>Desenvolvimento do método.....</b>                       | <b>24</b> |
| 3.3 MÉTODO DE DOSAGEM EPUSP/IPT.....                              | 28        |
| 3.3.1 <b>Desenvolvimento do método.....</b>                       | <b>29</b> |
| 3.4 SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES NO LABORATÓRIO.....                   | 34        |
| 3.4.1 <b>Sequência de atividades do método ABCP .....</b>         | <b>34</b> |
| 3.4.2 <b>Sequência de atividades do método EPUSP/IPT .....</b>    | <b>34</b> |
| <br>  |           |
| <b>4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE DOSAGEM DO CONCRETO .....</b>        | <b>36</b> |
| 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS.....              | 36        |
| 4.1.1 <b>Ensaio de caracterização dos agregados .....</b>         | <b>36</b> |
| 4.1.1.1 Ensaio de granulometria dos agregados.....                | 36        |
| 4.1.1.2 Ensaio de massa específica e massa unitária .....         | 39        |
| 4.1.1.3 Ensaio de umidade da areia.....                           | 40        |
| 4.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO MÉTODO ABCP.....                         | 41        |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>4.2.1</b> | <b>Dodagem para o concreto com fck de 20 Mpa:</b> | <b>41</b> |
| <b>4.2.2</b> | <b>Dodagem para o concreto com fck de 25 Mpa:</b> | <b>43</b> |
| <b>4.2.3</b> | <b>Dodagem para o concreto com fck de 30 Mpa:</b> | <b>45</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>EXEMPLO DE APLICAÇÃO MÉTODO EPUSP/IPT:</b>     | <b>47</b> |
| <b>4.3.2</b> | <b>Dodagem para o concreto com fck de 20 Mpa:</b> | <b>48</b> |
| <b>4.3.1</b> | <b>Dodagem para o concreto com fck de 25 Mpa:</b> | <b>49</b> |
| <b>4.3.3</b> | <b>Dodagem para o concreto com fck de 30 Mpa:</b> | <b>51</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>RESULTADOS E ANÁLISE DO EXPERIMENTO:</b>       | <b>52</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS:</b>                      | <b>57</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS:</b>            | <b>58</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS:</b>                               | <b>59</b> |
|              | <b>ANEXO:</b>                                     | <b>61</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material de construção constituído por uma mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água. Quando recém-misturado, deve oferecer condições tais de plasticidade que facilitem as operações de manuseio indispensáveis ao lançamento nas formas, adquirindo, com o tempo, pelas reações que então se processarem entre aglomerante e água, coesão e resistência (PETRUCCI, 1982).

Frequentemente confunde-se cimento e concreto. O cimento é um composto químico seco, finamente moído, que ao ser misturado com água reage lentamente formando um novo composto, desta vez, sólido. Já o concreto é um material formado pela mistura de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e, eventualmente, aditivos (ABESC, 2007).

Devendo apresentar características e propriedades compatíveis com o fim a que se destina, dentro dos limites econômicos de cada obra, exige o concreto, de seu executor, um perfeito conhecimento das propriedades e qualidade dos materiais constituintes e da proporção destes, bem como da técnica de seu preparo e uso (PETRUCCI, 1982).

O concreto é um dos poucos materiais de construção em que os engenheiros civis e arquitetos ainda tem acesso a sua produção, quer seja no canteiro de obras ou em usinas de concreto, podendo interferir diretamente nas especificações e produção do material, aumentando o desempenho mecânico, da durabilidade e das condições de aplicação do material (HELENE E ANDRADE, 2010).

A proporção dos materiais constituintes é obtida através de métodos de dosagem, seja experimental, baseado em ensaios laboratoriais, ou não experimental, baseado apenas na experiência do construtor. Quanto a sua fabricação, pode ser produzido tanto em usinas, onde se tem um maior controle na qualidade final do concreto, como também no próprio canteiro de obras, com um controle, na maioria das vezes, menos rigoroso (PETRUCCI, 1982).

Em qualquer método de dosagem experimental utilizado na produção do concreto, o resultado final é a proporção em massa dos diversos constituintes, em relação a massa de cimento. Esta proporção é denominada de traço unitário em massa TUM (HELENE E ANDRADE, 2010).

A dosagem não experimental, geralmente é adotada em obras afastadas dos centros mais adiantados, onde não é possível recorrer a estudos aprofundados em laboratórios, mas, mesmo aí, deve o engenheiro ater-se a certas regras fundamentais, a fim de garantir o máximo aproveitamento dos materiais de que dispõe (PETRUCCI, 1982).

Hoje encontram-se várias metodologias para dosagem de concreto de cimento Portland, dentre elas, no Brasil se destaca o método ABCP, um dos mais utilizados pelos profissionais da construção civil. Publicado em 1984 pela Associação Brasileira de Cimento Portland e elaborado pelo engenheiro Públio Penna Firme Rodrigues, este método teve como base um método americano proposto pela American Concrete Institute (BOGGIO, 2000).

Outro método com ampla aceitação no Brasil é o método IPT, desenvolvido inicialmente no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, e posteriormente revisado e atualizado pela Escola Politécnica da USP, passando a ser denominado EPUSP/IPT (VANDERLEY,2005).

Atualmente, deve-se considerar como materiais passíveis de uso nos concretos e possíveis de serem utilizados em um estudo de dosagem: os vários tipos de cimentos, os agregados miúdos, os agregados graúdos, a água, o ar incorporado, o ar aprisionado, os aditivos, as adições, os pigmentos e as fibras (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A escolha deste tema se deu devido à ampla aplicação do concreto na construção civil, e a importância que se tem em aprofundar estudos e conhecimentos no que se diz respeito à sua composição e às metodologias mais usuais empregadas na sua dosagem. Existem poucos estudos comparativos sobre métodos de dosagem que apresentam de forma prática, resultados, características e propriedades, quando são utilizados os mesmos materiais para diferentes metodologias. Por isso a necessidade de estudar e analisar cada um desses métodos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar uma análise comparativa entre os métodos ABCP e EPUSP/IPT de dosagem de concreto de cimento Portland, e apresentar o desempenho de cada método.

### **1.2.2 Objetivos específicos**



- Caracterizar os materiais constituintes do concreto;
- Analisar individualmente os métodos propostos para o estudo;
- Apresentar exemplos práticos através dos métodos de dosagem em questão;
- Exibir os resultados obtidos através de ensaios de abatimento e resistência à compressão realizados em laboratório.

### 1.3 METODOLOGIA

Para elaboração da monografia foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o assunto, consultando-se obras já consagradas no meio técnico, artigos científicos divulgados em anais de congresso e na internet. Foi desenvolvido um estudo teórico de cada um dos métodos em questão, apresentando de forma detalhada cada uma de suas etapas para a aplicação no processo de trabalho, demonstrando as principais características e propriedades. A parte experimental do trabalho foi realizada no laboratório de pesquisas, com a finalidade de aplicar os métodos de dosagem, apresentar a caracterização dos materiais que compõe o concreto e realizar os devidos ensaios, ensaio de abatimento (slump) do tronco de cone, ensaio de resistência a compressão, utilizando o auxílio de equipamentos e ferramentas.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 é apresentada uma pequena definição do concreto, um breve histórico do início de sua aplicação até os dias atuais, onde se teve um desenvolvimento tecnológico ao longo dos anos e a definição dos materiais que o compõe (cimento Portland, areia, brita e aditivos).

No capítulo 3 são apresentados os métodos de dosagem ABCP e EPUSP/IPT apresentando as particularidades, as etapas e procedimento de cada um dos métodos de forma bem detalhada e explicativa, de forma a ser utilizado para a obtenção da mistura ideal do concreto. Afim de atender as condições exigidas em projeto, também são apresentados os requisitos e condições iniciais para a dosagem e as sequências de atividades desenvolvidas em laboratório.

No capítulo 4 são apresentados exemplos práticos de dosagem de concreto utilizando os dois métodos abordados nessa dissertação, com desenvolvimento teórico e experimental,

também foi realizado um estudo de caracterização dos materiais definindo suas propriedades específicas, por meio de ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária. Além disso, foi apresentado os resultados finais, obtidos durante o estudo.

E por fim, o capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho, onde é feita todas as considerações finais e análise dos métodos de dosagem, apontando suas características e desenvolvimento durante todo o processo de dosagem do concreto.

## 2 CONCRETO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil. É uma rocha artificial formada por uma mistura de agregados graúdos, miúdos e material ligante, podendo ter ainda aditivos químicos e minerais. O material aglomerante normalmente utilizado na composição do concreto é o cimento Portland misturado com água (SHEHATA, 2005).

O concreto fresco deve ter uma trabalhabilidade adequada às condições de utilização definidas pelo transporte, lançamento e adensamento. O concreto endurecido deve ter suas características definidas pela resistência aos esforços mecânicos a que será submetido pelas questões relativas a durabilidade (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011).

### 2.1 HISTÓRICO

O concreto como material de construção é empregado desde a época do Império Romano, quando se utilizavam as misturas de cal e cinza vulcânica nas suas edificações (ASSUNÇÃO, 2002).

O concreto da era atual teve início somente após a patente do cimento Portland por John Aspdin<sup>12</sup> em 1824 na Inglaterra. Nesses primeiros anos, mesmo nos Estados Unidos, França e Inglaterra, que eram as três nações mais desenvolvidas da época, pouca aplicação significativa teve, destacando-se as patentes dos franceses Joseph-Louis Lambot, em 1855 (HELENE E ANDRADE, 2010).

Nos dias atuais, com a evolução dos materiais, das técnicas de cálculos estruturais e o desenvolvimento de novas técnicas construtivas, era de se esperar que as “receitas” de concreto fossem esquecidas no tempo. No entanto, não é isso que acontece nas pequenas e médias obras da construção civil. Pelo que se percebe, as “receitas” ainda vão perdurar em nossos canteiros por muito tempo (ASSUNÇÃO, 2002).

### 2.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO

O concreto de Cimento Portland deve conter cimento, água e agregados, além da possibilidade de contar com aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, cujos empregos tornam-se cada vez mais frequente nos concretos atuais. A proporção entre os diversos constituintes é buscada pela tecnologia do concreto, para atender

simultaneamente as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para o concreto (HELENE E ANDRADE, 2010).

### 2.2.1 Cimento Portland brasileiro

Com suas normas de cimento baseadas no modelo europeu, que conta atualmente com vinte e sete tipos de cimentos normalizados pelo CEN (EN 197-1:2000), o Brasil possui mais de oito tipos básicos de Cimento Portland normatizados, os quais com seus subtipos e classe de resistências chegam a mais de duas dezenas disponíveis para as mais variáveis aplicações (BATAGIN, 2011).

O quadro 1 apresenta os tipos de cimentos com suas nomenclaturas e conteúdo de constituintes especificados em normas (BATAGIN, 2011).

**Quadro 1 – Tipos de cimento Portland normatizados no Brasil**

| Nome Técnico do Cimento Portland | Sigla   | Classes    | Conteúdo dos componentes (%) |         |          |                |
|----------------------------------|---------|------------|------------------------------|---------|----------|----------------|
|                                  |         |            | Cliquer + gesso              | Escória | Pozolana | Filer calcário |
| Comum                            | CPI     | 25, 32, 40 | 100                          | 0       |          |                |
| Comum com Adição                 | CPI-S   | 25, 32, 40 | 99-95                        | 1-5     |          |                |
| Composto com Escória             | CPII-E  | 25, 32, 40 | 94-56                        | 6-34    | 0        | 0-10           |
| Composto com Pozolana            | CPII-Z  | 25, 32, 40 | 94-76                        | 0       | 6-14     | 0-10           |
| Composto com Filer               | CPII-F  | 25, 32, 40 | 94-90                        | 0       | 0        | 6-10           |
| Alto-Forno                       | CPIII   | 25, 32, 40 | 65-25                        | 35-70   | 0        | 0-5            |
| Pozolânico                       | CPIV    | 25, 32, 40 | 85-45                        | 0       | 15-50    | 0-5            |
| Alta Resistência Inicial         | CPV-ARI | -          | 100-95                       | 0       | 0        | 0-5            |
| Resistente a Sulfatos            | RS      | 25, 32, 40 | (*)                          |         |          |                |
| Baixo Calor de Hidratação        | BC      | 25, 32, 40 |                              |         |          |                |
| Branco Estrutural **             | CPB     | 25, 32, 40 | -                            | -       | -        | -              |

(\*) Composição depende do tipo original do qual é derivado.

\*\* Outro tipo de cimento branco é também produzido: Cimento Portland Branco não Estrutural (CPB).

Fonte: BATTAGIN, 2011

Os quadros 2 e 3 apresentam as especificações técnicas respectivamente físico-mecânicas e químicas para os cimentos Portland nacionais, segundo as normas brasileiras (BATAGIN, 2011).

Quadro 2 – Exigências físico-mecânicas dos cimentos segundo as normas brasileiras

| Tipo de cimento            | Classe | Finura                    |  | Tempos de pega (h) |             | Expansibilidade e (mm) |          | Resistência à compressão (MPa) |           |           |           |             |  |
|----------------------------|--------|---------------------------|--|--------------------|-------------|------------------------|----------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|--|
|                            |        | Resíduo #75 $\mu\text{m}$ | Área específica ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ) | Início             | Fim         | A frio                 | A quente | 1 dia                          | 3 dias    | 7 dias    | 28 dias   | 91 dias     |  |
| CPI<br>CPI-S               | 25     | $\leq 12,0$               | $\geq 240$                                 |                    |             |                        |          |                                |           |           |           |             |  |
|                            | 32     | $\leq 10,0$               | $\geq 260$                                 | $\geq 1$           | $\leq 10^1$ | $\leq 5^1$             | $\leq 5$ | -                              | $\geq 8$  | $\geq 15$ | $\geq 25$ |             |  |
|                            | 40     | $\leq 10,0$               | $\geq 280$                                 |                    |             |                        |          |                                | $\geq 10$ | $\geq 20$ | $\geq 32$ |             |  |
| CPII-E<br>CPII-Z<br>CPII-F | 25     | $\leq 12,0$               | $\geq 240$                                 |                    |             |                        |          |                                |           |           |           |             |  |
|                            | 32     | $\leq 10,0$               | $\geq 260$                                 | $\geq 1$           | $\leq 10^1$ | $\leq 5^1$             | $\leq 5$ | -                              | $\geq 8$  | $\geq 15$ | $\geq 25$ |             |  |
|                            | 40     | $\leq 10,0$               | $\geq 280$                                 |                    |             |                        |          |                                | $\geq 10$ | $\geq 20$ | $\geq 32$ |             |  |
| CPIII <sup>2</sup>         | 25     |                           |  |                    |             |                        |          |                                |           |           |           |             |  |
|                            | 32     | $\leq 8,0$                | -  | $\geq 1$           | $\leq 12^1$ | $\leq 5^1$             | $\leq 5$ | -                              | $\geq 8$  | $\geq 15$ | $\geq 25$ | $\geq 32^1$ |  |
|                            | 40     |                           |  |                    |             |                        |          |                                | $\geq 10$ | $\geq 20$ | $\geq 32$ | $\geq 40^1$ |  |
| CPIV <sup>2</sup>          | 25     |                           |  |                    |             |                        |          |                                |           |           |           |             |  |
|                            | 32     | $\leq 8,0$                | -  | $\geq 1$           | $\leq 12^1$ | $\leq 5^1$             | $\leq 5$ | -                              | $\geq 8$  | $\geq 15$ | $\geq 25$ | $\geq 32^1$ |  |
|                            |        |                           |  |                    |             |                        |          |                                | $\geq 10$ | $\geq 20$ | $\geq 32$ | $\geq 40^1$ |  |
| CPV-ARI                    |        | $\leq 6,0$                | $\geq 300$                                 | $\geq 1$           | $\leq 10^1$ | $\leq 5^1$             | $\leq 5$ | $\geq 14$                      | $\geq 24$ | $\geq 34$ | -         | -           |  |

(1) Ensaio facultativo

(2) Outras características podem ser exigidas, como calor de hidratação, inibição da expansão devido a reação álcali-agregado, resistência a meios agressivos, tempos máximos de início de pega.

Fonte: BATTAGIN, 2011

Quadro 3 – Exigências químicas dos cimentos segundo as normas brasileiras

| Tipos de Cimento | Resíduo Insolúvel (%) | Perda ao Fogo (%) | Teores de óxidos (%) |                 |                 |
|------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
|                  |                       |                   | MgO                  | SO <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> |
| CPI              | $\leq 1,0$            | $\leq 2,0$        | $\leq 6,5$           | $\leq 4,0$      | $\leq 1,0$      |
| CPI-S            | $\leq 5,0$            | $\leq 4,5$        | $\leq 6,5$           | $\leq 4,0$      | $\leq 3,0$      |
| CPII-E           | $\leq 2,5$            | $\leq 6,5$        | $\leq 6,5$           | $\leq 4,0$      | $\leq 5,0$      |
| CPII-Z           | $\leq 16,0$           | $\leq 6,5$        | $\leq 6,5$           | $\leq 4,0$      | $\leq 5,0$      |
| CPII-F           | $\leq 2,5$            | $\leq 6,5$        | $\leq 6,5$           | $\leq 4,0$      | $\leq 5,0$      |
| CPIII            | $\leq 1,5$            | $\leq 4,5$        | -                    | $\leq 4,0$      | $\leq 3,0$      |
| CPIV             | -                     | $\leq 4,5$        | $\leq 6,5$           | $\leq 4,0$      | $\leq 3,0$      |
| CPV-ARI          | $\leq 1,0$            | $\leq 4,5$        | $\leq 6,5$           | (*)             | $\leq 3,0$      |

(\*) SO<sub>3</sub>  $\leq 3,5\%$  para C<sub>3</sub>A  $\leq 8,0\%$  e SO<sub>3</sub>  $\leq 4,5\%$  para C<sub>3</sub>A  $> 8,0\%$ .

Fonte: BATTAGIN, 2011

### 2.2.2 Agregados

Agregados é a denominação genérica dada aos materiais que são acrescentados ao cimento e à água para se obterem as argamassas e os concretos (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011).

São materiais granulares, sem forma e volume definidos, geralmente inertes, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. São agregados, as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rochas (PETRUCCI, 1982).

Os agregados podem ser classificados do ponto de vista de sua origem e, neste caso, podem ser divididos em naturais e artificiais, e segundo tamanho, em agregados miúdos e agregados graúdos (PETRUCCI, 1982).

Entende-se por agregados miúdos àqueles cujos os grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,15 mm, podem ser exemplificados pelas areias de uma maneira geral. Quanto aos agregados graúdos, são aqueles cujos os grãos passam pela peneira ABNT 76 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm, como exemplos podem ser citadas as britas (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011).

### 3 DOSAGEM DE CONCRETO EXPERIMENTAL

Dosagem ou traço de concreto é a determinação da mistura ideal e mais econômica de um concreto, com características capazes de atender às condições de serviço, utilizando os materiais disponíveis na região (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011).

Em princípio, os requisitos básicos usuais a serem atendidos são: resistência mecânica, mais especificamente a resistência à compressão; trabalhabilidade, adequada a cada situação específica; durabilidade, frente às solicitações às quais o concreto será exposto durante sua vida útil; e a deformabilidade, necessária à estrutura especificada (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

#### 3.1 REQUISITOS E CONDIÇÕES INICIAIS PARA DOSAGEM DO CONCRETO

As estruturas de concretos devem ser projetadas e contruídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, apresentem segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período de vida útil de acordo com a norma ABNT NBR 6118.

A classe de agressividade ambiental é estabelecida de acordo com o apresentado no quadro 4 para os projetos de estruturas correntes ABNT NBR 6118.

**Quadro 4 – Classes de agressividade ambiental**

| 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), 2)</sup>                                   |                                    |
| IV                                | Muito forte   | Industrial <sup>1), 3)</sup>                                   | Elevado                            |
|                                   |               | Respingos de maré  |                                    |

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura 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.

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014

Segundo a ABNT NBR 6118, o quadro 5 apresenta valores correspondentes a classe de agressividade e qualidade do concreto, o qual interfere diretamente na durabilidade das estruturas, esses requisitos são validos somente para concretos executados com cimento Portland, conforme seu tipo de classe.

**Quadro 5 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto**

| Concreto  | Tipo    | Classe de agressividade (Tabela 1) |        |        |        |
|---|---------|------------------------------------|--------|--------|--------|
|   |         | 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 (ABNT 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; CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido. |         |                                    |        |        |        |

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014

A resistência média prevista para a dosagem do concreto não é diretamente o  $f_{ck}$  e sim o  $f_{cj}$ .

Para a determinação da resistência de dosagem,  $f_{c,28}$ , adota-se a equação 1 recomendada na NBR 12655 (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011):

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 * Sd \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde,

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

O valor do desvio-padrão é em função do rigor da produção do concreto, de acordo com o a medição dos materiais do concreto e a verificação do teor de umidade dos agregados (Quadro 6).



Quadro 6 – Desvio-padrão Sd

| Condição | Classe de Aplicação | Crítérios  | Sd (Mpa) |
|----------|---------------------|--|----------|
| A        | C 10 até C 80       | O cimento e agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.  | 4,0      |
| B        | C 10 até C 25       | O cimento e agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e os agregados medidos em volume. O volume dos agregados miúdos é corrigido através da curva de inchamento estabelecida especificamente para o material utilizado. | 5,5      |
| C        | C 10 até C 15       | O cimento é medido em massa e os agregados são medidos em volume.  | 7,0      |

Fonte: Próprios autores, 2017

O ensaio de abatimento do tronco de cone permite à avaliação da consistência e verificação da coesão e fluidez da mistura. Este parâmetro muitas vezes é definido em função da densidade da armadura do elemento estrutural. A tabela 1 mostra alguns valores de abatimento que podem ser utilizados em função das peças a serem concretadas (ASSUNÇÃO,2002).

Tabela 1– Abatimento do concreto em função ao elemento estrutural

| ELEMENTO ESTRUTURAL                      | ABATIMENTO (mm)  |                  |
|--|------------------|------------------|
|  | POUCO ARMADA     | MUITO ARMADA     |
| - Laje                                   | $\leq 60 \pm 10$ | $\leq 70 \pm 10$ |
| - Viga e parede armada                   | $\leq 60 \pm 10$ | $\leq 80 \pm 10$ |
| - Pilares de edifícios                   | $\leq 60 \pm 10$ | $\leq 80 \pm 10$ |
| - Paredes de fundação, sapatas, tubulões | $\leq 60 \pm 10$ | $\leq 70 \pm 10$ |

**OBSERVAÇÕES:**  
1 – Quando o concreto for bombeado a consistência deve estar entre 70 a 100mm, no máximo;  
2 – Quando a altura para o bombeamento for acima de 30m, considerar o limite para a consistência na saída da tubulação.

Fonte: Assunção, 2002

Calculada a resistência de dosagem e definido os parâmetros iniciais, deve-se adotar um dos métodos de dosagem experimental para definir as proporções adequadas dos materiais que vão compor o concreto (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011).

## 3.2 MÉTODO DE DOSAGEM ABCP

Este método, baseado no texto da Norma ACI 211.1-81 (Revised 85) - Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, constitui-se numa adaptação prática do método americano às condições brasileiras e permite a utilização de agregados graúdos britados e areia de rio que se enquadram na norma NBR 7211 (ABNT, 1983<sup>a</sup>) - Agregados para concreto (BOGGIO, 2000).

Desta forma o método, que considera tabelas e gráficos elaborados a partir de valores médios de resultados experimentais, constitui-se numa ferramenta de dosagem de concretos convencionais, adequada aos materiais mais utilizados em várias regiões do Brasil (BOGGIO, 2000).

O método da ABCP/ACI preocupa-se com a trabalhabilidade através de diversos fatores relativos aos materiais, às condições de execução e adensamento e às dimensões das peças. Um conceito fundamental abordado pelo método é aquele que vincula, para cada granulometria da areia e cada tamanho máximo de agregado graúdo, um valor máximo do volume de agregado compactado seco por m<sup>3</sup> de concreto (BOGGIO, 2000).

### 3.2.1 Desenvolvimento do método

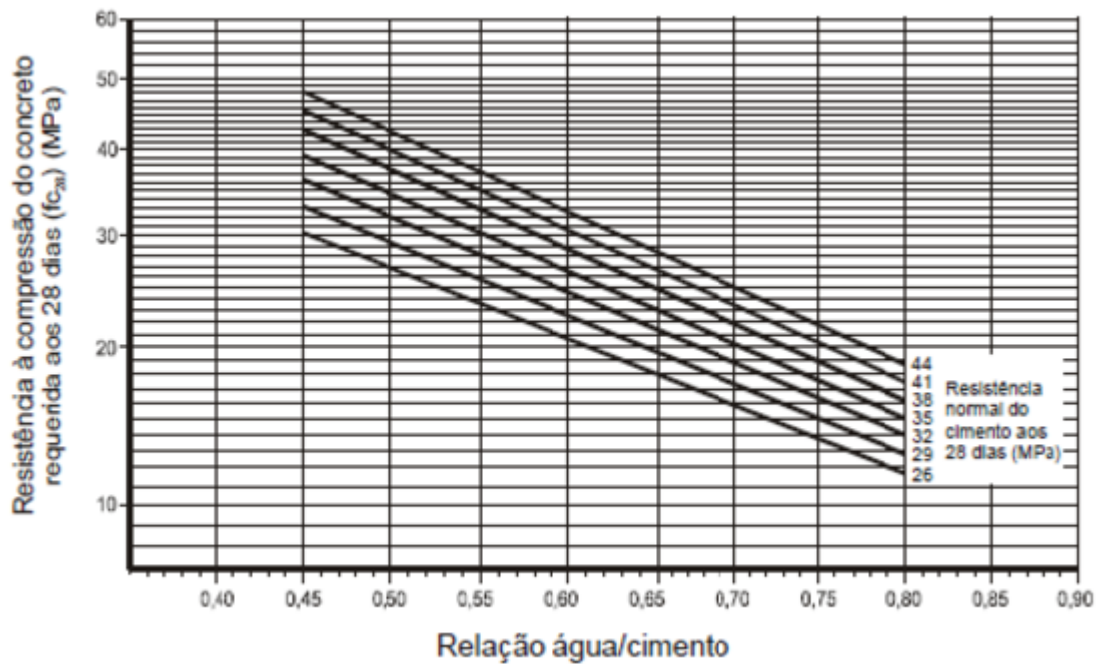
Calculada a resistência de dosagem, utiliza-se o método de dosagem ABCP para definir as proporções adequadas de cimento, areia, brita e água que vão compor o concreto. A partir dessa dosagem inicial, deverão ser feitos os ajustes necessários para a obtenção de um concreto resistente, durável, trabalhável e econômico (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011).

**Etapa 1** – Fixação da relação água-cimento, *a/c*, através da Curva de Abrams apresentada na (Figura 1) (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011):

$$\text{Relação água-cimento} = A/C$$

A resistência à compressão é o principal parâmetro da resistência mecânica a ser considerado. O valor da relação água/cimento é estimado com base na curva de Abrams, que por sua vez, deve ser determinado em função do tipo de cimento (GUERRA, 2015).

Figura 1 – Curva de Abrams



Fonte: Guerra, 2015

**Etapa 2** – Determinação da quantidade de água,  $A_{\text{água}}$ , necessária para fornecer ao concreto fresco uma consistência seca a plástica (Tabela 2) (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011):

A quantidade de água necessária para que a mistura fresca adquira uma determinada consistência, medida pelo abatimento do tronco de cone, depende basicamente da granulometria, da forma e textura dos grãos, mais especificamente, da área específica do agregado total da mistura (GUERRA, 2015).

Devido à dificuldade em expressar matematicamente o consumo de água na mistura por meio de uma lei matemática, este trabalho apresenta como estimativa inicial do consumo de água por metro cúbico de concreto a tabela 2, que devem ser ajustadas por experiências prévias ou por meio de tentativas utilizando o ensaio do tronco de cone para atingir o abatimento desejável (GUERRA, 2015).

**Tabela 2 – Consumo de água em função do diâmetro máximo do agregado e do abatimento da mistura (l/m<sup>3</sup>)**

| ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE | DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO ( $\Phi_{max}$ ) |                      |                      |                      |                      |
|------------------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                              | 9,5mm  | 19mm                 | 25mm                 | 32mm                 | 38mm                 |
| 40 a 60mm                    | 220 l/m <sup>3</sup>   | 195 l/m <sup>3</sup> | 190 l/m <sup>3</sup> | 185 l/m <sup>3</sup> | 180 l/m <sup>3</sup> |
| 60 a 80mm                    | 225 l/m <sup>3</sup>   | 200 l/m <sup>3</sup> | 195 l/m <sup>3</sup> | 190 l/m <sup>3</sup> | 185 l/m <sup>3</sup> |
| 80 a 100mm                   | 230 l/m <sup>3</sup>   | 205 l/m <sup>3</sup> | 200 l/m <sup>3</sup> | 200 l/m <sup>3</sup> | 190 l/m <sup>3</sup> |

**OBSERVAÇÕES:**

- 1 – Os valores acima são recomendados para concretos confeccionados com agregado graúdo britado (basalto), agregado miúdo (areia de rio), consumo de cimento por metro cúbico de concreto da ordem de 300kg/m<sup>3</sup> e abatimento, medido pelo tronco de cone, entre 4mm a 100mm;
- 2 – Quando usado seixo rolado como agregado graúdo, os valores do consumo de água podem ser reduzidos de 5% a 10%;
- 3 – As areias pertencentes à zona 1 da NBR 7211 (muito fina), podem gerar aumentos de até 10% no consumo de água por metro cúbico de concreto.

Fonte: Boggio, 2000

$A_{\text{água}}$  = Consumo de água (l/m<sup>3</sup>)

**Etapa 3** – Definir o consumo de cimento,  $C_{\text{cim}}$ , calculado em função da quantidade de água e da relação água/cimento (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011):

A estimativa do consumo de cimento pode ser determinada por meio da equação 2:

$$C = \frac{A_{\text{água}}}{a/c} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde,

$C$  = consumo de cimento por metro cubico de concreto (kg/m<sup>3</sup>)

$A_{\text{água}}$  = Consumo de água (l/m<sup>3</sup>)

$a/c$  = Relação água-cimento (kg/kg)

**Etapa 4** – Determinação do consumo de agregado graúdo,  $B_{\text{brita}}$ , em função do diâmetro máximo da brita e o módulo de finura da areia (Tabela 3) (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011):

O método permite a obtenção de misturas com uma determinada consistência aliada ao menor volume de vazios inter-grãos possíveis. A tabela 3 apresenta o volume compactado de agregados graúdos por metro cubico de concreto, cujo os valores foram estabelecidos pela ABCP por meio de ensaios experimentais (GUERRA, 2015).

Tabela 3 – Volume compactado seco (Vc) do agregado graúdo por m<sup>3</sup> de concreto

| Módulo de Finura da areia | Dimensão máxima característica do agregado graúdo D <sub>mc</sub> (mm)                      |      |       |      |       |
|---------------------------|---|------|-------|------|-------|
|                           | 9,5   | 19   | 25    | 32   | 38    |
| MF                        | Volume compactado seco (V <sub>cs</sub> ) de agregado graúdo por m <sup>3</sup> de concreto |      |       |      |       |
| 1,8                       | 0,645   | 0,77 | 0,795 | 0,82 | 0,845 |
| 2,0                       | 0,625   | 0,75 | 0,775 | 0,8  | 0,825 |
| 2,2                       | 0,605   | 0,73 | 0,755 | 0,78 | 0,805 |
| 2,4                       | 0,585   | 0,71 | 0,735 | 0,76 | 0,785 |
| 2,6                       | 0,565   | 0,69 | 0,715 | 0,74 | 0,765 |
| 2,8                       | 0,545   | 0,67 | 0,695 | 0,72 | 0,745 |
| 3,0                       | 0,525   | 0,65 | 0,675 | 0,7  | 0,725 |
| 3,2                       | 0,505   | 0,63 | 0,655 | 0,68 | 0,705 |
| 3,4                       | 0,485   | 0,61 | 0,635 | 0,66 | 0,685 |
| 3,6                       | 0,465   | 0,59 | 0,615 | 0,64 | 0,665 |

Obs: Os volumes de agregado compactado seco referem-se à mistura de todos os tipos de brita que entram na composição do concreto.

Fonte: Boggio, 2000

Tendo obtido o valor do volume compactado seco de agregado, é possível determinar o consumo de agregado graúdo através da equação 3:

$$B_{brita} = Mu \times Vc \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde,

B<sub>brita</sub> = Consumo de brita (kg/m<sup>3</sup>)

Mu = Massa unitária compactada da brita (kg/m<sup>3</sup>)

Vc = Volume compactado do agregado graúdo por m<sup>3</sup>

**Etapa 5** – Cálculo do consumo de agregado miúdo, A<sub>areia</sub>, para a composição de 1 m<sup>3</sup> de concreto (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2011):

O consumo do agregado miúdo (Ca), quando já determinados os consumos do cimento, água e agregado graúdo, é imediata. Isso se deve ao fato que por princípio, o volume de concreto é formado pela soma dos volumes absolutos dos materiais que o constituem (GUERRA, 2015).

Para 1 m<sup>3</sup> de concreto, o volume do agregado miúdo é dado pela equação 4:

$$V_{areia} = 1000 - \left( \frac{C_{cim}}{\gamma_{r,cim}} + \frac{B_{brita}}{\gamma_{r,brita}} + \frac{A_{\acute{a}gua}}{\gamma_{\acute{a}gua}} \right) \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde,

$\gamma_{r,cim}$  = Massa específica do cimento (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{r,areia}$  = Massa específica da areia (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{r,brita}$  = Massa específica da brita (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{r,\acute{a}gua}$  = Massa específica da água (kg/m<sup>3</sup>)

$V_{areia}$  = Volume de areia por m<sup>3</sup>

Pela equação 5 se determina o consumo de areia,  $C_{areia}$ , por m<sup>3</sup> de concreto:

$$C_{areia} = \gamma_{r,areia} \times V_{areia} \quad \text{Eq. (5)}$$

**Etapa 7** – Definição do traço de concreto em massa:

$C_{cim}$ :  $C_{areia}$ :  $B_{brita}$ :  $A_{\acute{a}gua}$

**Etapa 8** – A definição do traço unitário é feita em função das relações dos diversos componentes em relação à massa de cimento (equação 6):

$$1: \frac{C_{areia}}{C_{cim}} : \frac{B_{brita}}{C_{cim}} : \frac{A_{\acute{a}gua}}{C_{cim}} \quad \text{Eq. (6)}$$

### 3.3 MÉTODO DE DOSAGEM EPUSP/IPT

O método EPUSP/IPT, inicialmente proposto por Eládio Petrucci (1965), e posteriormente modificado por pesquisadores do IPT, Prizskulnik, Kirilos, Terzian e Tango, e Helene, da EPUSP, é um dos métodos mais versáteis, simples e capaz de fornecer uma resposta positiva aos requisitos de um concreto (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

Pode-se classificá-lo como um método teórico-experimental, em que há uma parte experimental de laboratório, precedida por uma parte analítica de cálculo baseada em leis de comportamentos dos concretos (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

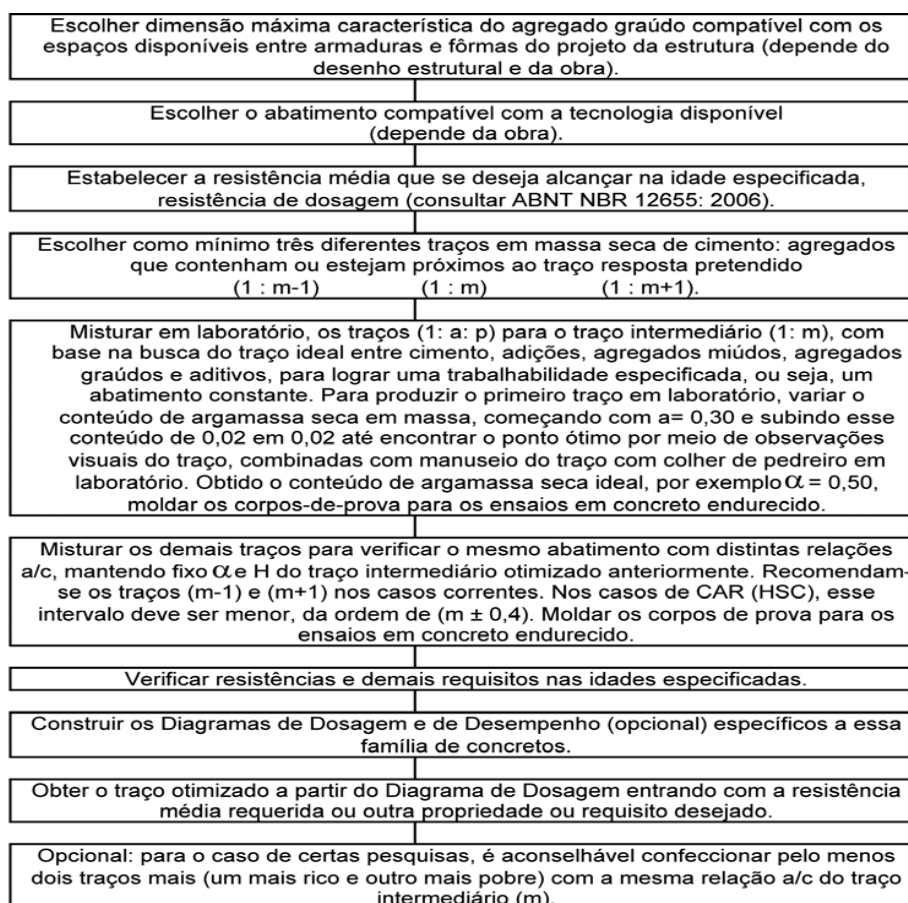
Em resumo, o método EPUSP/IPT entende que a melhor proporção entre os agregados disponíveis é aquela que consome a menor quantidade de água para obter um dado abatimento requerido e faz isso considerando a interferência do aglomerante (cimento + adições) na proporção total de materiais. Portanto não se trata de obter a máxima capacidade do esqueleto granular, mas sim de obter o mínimo consumo de água para uma requerida consistência, o que vai resultar na máxima resistência a compressão daquele concreto (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

O método de dosagem EPUSP/IPT, estabelece, como resultado final de sua aplicação, um diagrama de dosagem gráfica sobre três quadrantes onde são representadas as leis de comportamento: Lei de Abrams, Lei de Lyse, Lei de Molinari (BOGGIO, 2000).

### 3.3.1 Desenvolvimento do método

O fluxograma da figura 2 apresenta os principais passos estabelecidos pelo método:

**Figura 2 – Fluxograma de dosagem do método EPUSP/IP**



Esta é uma das fases mais importantes no estudo de dosagem do concreto, definir o teor de argamassa seca ( $\alpha$ ) para obter um concreto trabalhável e com a consistência requerida, é possível determinar a proporção de agregado miúdo e agregado graúdo:

**Etapa 1** – Determinação do agregado miúdo, areia, equação 8:

$$a = \alpha x (1 + m) - 1 \quad \text{Eq. (8)}$$

**Etapa 2** – Determinação do agregado graúdo, brita, equação 9:

$$b = m - a \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde,

a = relação agregado miúdo seco/cimento em massa (kg/kg)

b = relação de agregado graúdo seco/cimento em massa (kg/kg)

$\alpha$  = teor de argamassa seca em %

m = (a + b) relação de agregados secos/cimento em massa (kg/kg)

**Etapa 3** – Determinação da relação água/materiais secos, H, equação 10:

$$H = \frac{a/c}{1 + m} \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde,

H = relação água/materiais secos em %

a/c = Relação água-cimento (kg/kg)

m = (a + b) relação de agregados secos/cimento em massa (kg/kg)

A estimativa inicial da quantidade de água pode ser feita com base nos valores fornecidos na tabela 4 (ASSUNÇÃO,2002).



Tabela 4 – Valores da relação água/mistura seca (H) em função do diâmetro dos agregados

| DIMENSÃO MÁXIMA<br>CARACTERÍSTICA DO<br>AGREGADO | TIPO DE ADENSAMENTO |          |
|--|---------------------|----------|
|  | MANUAL              | MECÂNICO |
| 9,5mm  | 11,5%               | 11,0%    |
| 19mm   | 10,0%               | 9,5%     |
| 25mm   | 9,5%                | 9,0%     |
| 38mm   | 9,0%                | 8,0%     |
| 50mm   | 8,5%                | 7,0%     |

**OBSERVAÇÃO:**

- Estes valores foram obtidos para agregados comuns (areia média de rio, brita de granito). Para seixo rolado, diminuir 1% em cada valor.

Fonte: Assunção, 2002

**Etapa 4** – Determinação do consumo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto equação 11:

$$C = \frac{\gamma}{1 + m + a/c} \quad \text{Eq. (11)}$$

Onde,

$\gamma$  = massa específica do concreto em (kg/m<sup>3</sup>)

m = (a + b) relação de agregados secos/cimento em massa (kg/kg)

a/c = Relação água-cimento (kg/kg)

Com os resultados obtidos e processados, deve ser construído o “Diagrama de Dosagem”, que corresponde ao modelo de comportamento das misturas do estudo em andamento e que facilita sobremaneira o entendimento do comportamento dessa família de concretos de mesmo abatimento, mas com propriedades muito diferentes depois de endurecidos (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

Esse diagrama é válido somente para o mesmo tipo e classe de cimento, mesmos agregados, mesmos equipamentos e manutenção das demais variabilidades e materiais sob controle (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

O diagrama final é representado graficamente sob três quadrantes estabelecidos através das três leis de comportamentos expressas pelas correlações apresentadas a seguir (assunção, 2002).

Lei de Abrams é a resistência de um concreto, numa determinada idade ( $f_{cj}$ ), é inversamente proporcional a relação água-cimento, conforme a equação 12 (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \quad \text{Eq. (12)}$$

Lei Lyse: fixados o cimento e agregados, a consistência do concreto fresco depende preponderantemente da quantidade de água por  $m^3$  de concreto e pode ser, simplificada, expressa pela equação 13 (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

$$m = k_1 + k_4 \times a/c \quad \text{Eq. (13)}$$

Lei de Molinari: o consumo de cimento por  $m^3$  de concreto varia na proporção inversa da relação em massa seca de agregados/cimento ( $m$ ), expressa pela equação 14 (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 \times m} \quad \text{Eq. (14)}$$

Onde,

$f_{cj}$  = resistência a compressão do concreto para a idade de  $j$  dias, em Mpa.

$m$  = relação em massa seca de agregados/cimento, em kg/kg.

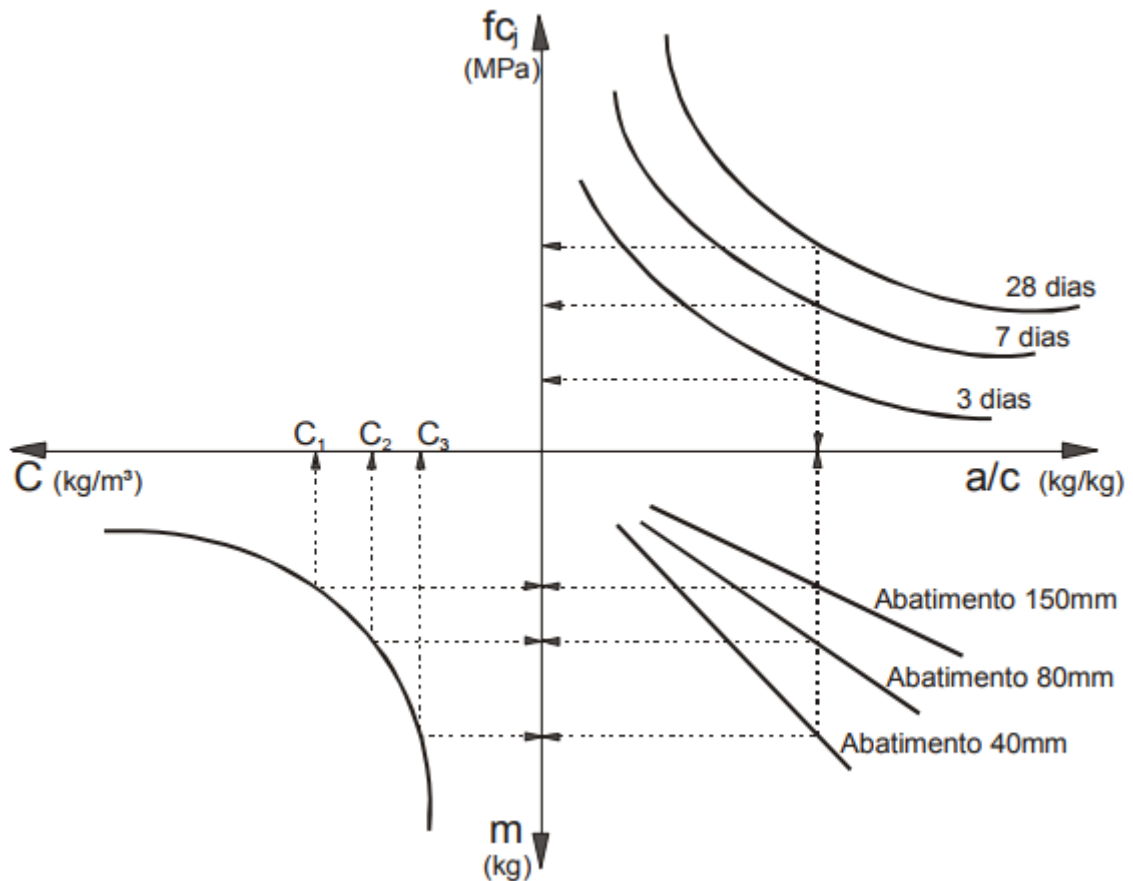
$a/c$  = Relação água-cimento (kg/kg)

$C$  = consumo de cimento por  $m^3$  de concreto adensado em  $kg/m^3$

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$  e  $k_6$  são constantes particulares de cada conjunto de mesmos materiais.

A figura 3 apresenta o gráfico do diagrama de dosagem para o tempo de cura de 3, 7 e 28 dias.

Figura 3 – Diagrama de Dosagem



Fonte: Assunção, 2002

Para o método EPUSP/IPT são estabelecidos alguns limites de aplicação (TUTIKIAN E HELENE, 2011).

:

- Resistência a compressão:  $5 \text{ Mpa} \leq f_{ck} \leq 150 \text{ Mpa}$
- Relação a/c:  $0,15 \leq a/c \leq 1,5$
- Abatimento:  $0 \leq \text{abatimento} \leq \text{autoadensável}$
- Dimensão máxima do agregado:  $4,8 \text{ mm} \leq D_{máx} \leq 100 \text{ mm}$
- Teor de argamassa seca:  $30 \% < \alpha < 90 \%$
- Fator água/materiais secos:  $5 \% < H < 12 \%$
- Módulo de finura do agregado: qualquer
- Distribuição granulométrica dos agregados; qualquer

- Massa específica do concreto:  $> 1500 \text{ kg/m}^3$

### 3.4 SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES NO LABORATÓRIO

Para a parte experimental dos métodos de dosagem apresentados, recomenda-se as seguintes sequências de atividades a serem desenvolvidas no laboratório (IBRACON, 2011).

#### 3.4.1 Sequência de atividades do método ABCP

1. Imprimir a betoneira com uma porção de argamassa ( $> 20 \text{ kg}$ ) com o traço 1:2, a/c  $< 0,60$ . Esse procedimento é feito para evitar perda de materiais.
2. Após pesar e lançar os primeiros materiais na betoneira, deve-se misturá-los durante 5 minutos. Ao final, verificar se é possível efetuar o batimento do tronco de cone.
3. Para a introdução dos materiais de modo individual dentro da betoneira, deve-se obedecer a seguinte ordem preferencial: água (80%); agregado graúdo (100%); cimento (100%); agregado miúdo (100%); por último adicionar o restante da água (20%; quando necessário adicionar aditivos).
4. Moldar os corpos de prova para realizar o ensaio de resistência a compressão.

#### 3.4.2 Sequência de atividades do método EPUSP/IPT

1. Imprimir a betoneira com uma porção de argamassa ( $> 20 \text{ kg}$ ) com o traço 1:2, a/c  $< 0,60$ . Esse procedimento é feito para evitar perda de materiais.
2. Após pesar e lançar os primeiros materiais na betoneira, deve-se misturá-los durante 5 minutos. Ao final, verificar se é possível efetuar o batimento do tronco de cone.
3. Para a introdução dos materiais de modo individual dentro da betoneira, deve-se obedecer a seguinte ordem preferencial: água (80%); agregado graúdo (100%); cimento (100%); agregado miúdo (100%); por último adicionar o restante da água (20%; quando necessário adicionar aditivos).
4. Adicionar água aos poucos, observando e controlando até obter o abatimento requerido.
5. Para a definição do teor ideal de argamassa, deve-se realizar o procedimento baseado em observações práticas descrito a seguir, para cada teor de argamassa;

- a) Passar a colher de pedreiro sobre a superfície do concreto fresco, introduzir na massa e levantar no sentido vertical para verificar se a superfície exposta está com vazios, indicando falta de argamassa.
  - b) Após o ensaio de abatimento, estando ainda o concreto com o formato de tronco de cone, deve-se bater suavemente na lateral inferior do mesmo, com o objetivo de verificar sua queda. Se está se realiza de forma homogêneo e coeso, indica que o concreto está com o teor de argamassa considerado adequado;
6. Realizar as misturas dos traços, com o teor de argamassa definitivo e determinar todas as características do concreto fresco:
- Relação água/cimento
  - Consumo de cimento por  $m^3$  de concreto
  - Consumo de água por  $m^3$  de concreto
  - Abatimento do tronco de cone
  - Teor de argamassa seca
  - Relação água/materiais secos

## **4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE DOSAGEM DO CONCRETO**

### **4.1 MATERIAIS UTILIZADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS**

Para a produção do concreto é necessário definir as características dos materiais a serem utilizados na composição do concreto: cimento, areia, brita, água e aditivos quando necessário. É realizado em ensaios laboratoriais seguindo alguns parâmetros estabelecidos por normas da ABNT.

Foi utilizado o cimento Portland com adição de material pozolânico ( CP-II-Z-32), da marca TOCANTINS, areia lavada e brita, da região de Anápolis-Go. Não teve a utilização de aditivos para a confecção do concreto.

#### **4.1.1 Ensaio de caracterização dos agregados**

Para este estudo foi realizado ensaio laboratorial, para então serem determinados as características dos materiais, foram produzidos ensaios de granulometria dos agregados, massa específica, massa unitária e umidade da areia. Os materiais estavam completamente secos, assim a umidade não influenciou nos resultados.

##### **4.1.1.1 Ensaio de granulometria dos agregados**

O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7211:2009 e NBR NM 248:2003, seguindo todos os parâmetros.

Nesta etapa foram utilizadas as peneiras de número (2,36, 1,18, 600, 300 e 150) para o agregado miúdo e para o agregado graúdo foi utilizada as peneiras de número (3/4, 1/2, 3/8, 4) da série normal, uma balança de precisão e um recipiente para pesagem do material, conforme a NBR 7211:2009. O processo foi realizado manualmente para o ensaio da areia e com a utilização do vibrador de peneiras para o ensaio da brita. Os materiais e peneiras utilizadas no ensaio são apresentadas nas figuras 4,5 e 6.

**Figura 4 - Amostra dos materiais utilizados no ensaio de granulometria**



Fonte: Próprios autores, 2017

**Figura 5 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria da areia**



Fonte: Próprios autores, 2017

**Figura 6 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria da brita**



Fonte: Próprios autores, 2017

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos na análise da areia, para uma amostra de 500 g.

**Tabela 4 – Análise de granulometria da areia**

| <b>ANÁLISE GRANULOMETRICA</b> |                   |                            |                           |
|-------------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>Peneira (nº)</b>           | <b>retida (g)</b> | <b>retida individual %</b> | <b>retida acumulada %</b> |
| 2,36                          | 43,2              | 8,64                       | 8,64                      |
| 1,18                          | 44,9              | 8,98                       | 17,62                     |
| 600                           | 101,8             | 20,36                      | 37,98                     |
| 300                           | 210,2             | 42,04                      | 80,02                     |
| 150                           | 83,3              | 16,66                      | 96,68                     |
| fundo                         | 14,9              | 2,98                       | 99,66                     |
| ≠                             | 1,7               | 0,34                       | 100                       |
| <b>Módulo de finura (MF):</b> |                   |                            |                           |
| <b>2,4</b>                    |                   |                            |                           |

Fonte: Próprios autores, 2017



A tabela 5 apresenta os resultados obtidos na análise da brita 0, para uma amostra de 2,0 kg.

Tabela 5 - Análise de granulometria da brita 0

| <b>ANÁLISE GRANULOMETRICA</b> |                      |                                      |                            |                           |
|-------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>Peneira (nº)</b>           | <b>Abertura (mm)</b> | <b>retida (g)</b>                    | <b>retida individual %</b> | <b>retida acumulada %</b> |
| 3/4"                          | 19                   | 0                                    | 0                          | 0                         |
| 1/2"                          | 12,5                 | 15                                   | 0,75                       | 0,75                      |
| 3/8"                          | 9,5                  | 95                                   | 4,75                       | 5,5                       |
| 4"                            | 4,5                  | 1850                                 | 92,5                       | 98                        |
| fundo                         | -                    | 39                                   | 1,95                       | 99,95                     |
| ≠                             | -                    | 1                                    | 0,05                       | 100                       |
| <b>Módulo de finura (MF):</b> |                      | <b>Dimensão máxima da brita (mm)</b> |                            |                           |
| <b>4,45</b>                   |                      | <b>9,5</b>                           |                            |                           |

Fonte: Próprios autores, 2017

#### 4.1.1.2 Ensaio de massa específica e massa unitária

O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR NM 26:2009, ABNT NBR NM 52:2009, ABNT NBR NM 27:2001, ABNT NBR NM 53:2003 e ABNT NBR NM 45:2006, seguindo todos os parâmetros estabelecidos.

**Massa unitária da areia:** relação entre a massa do agregado introduzida no recipiente conforme o estabelecido na norma e o volume desse recipiente.

$$\gamma_a = \frac{15,0}{10} = 1500 \text{ kg/m}^3$$

**Massa específica da areia:** relação entre a massa do agregado seco e seu volume.

$$\gamma_r = \frac{500}{500 - 309,5} = 2620 \text{ kg/m}^3$$

**Massa unitária da brita 0:** relação entre a massa do agregado introduzida no recipiente conforme o estabelecido na norma e o volume desse recipiente.

$$\gamma_a = \frac{15,00}{0,01} = 1500 \text{ kg/m}^3$$

**Massa específica da brita 0:** relação entre a massa do agregado seco e seu volume.

$$\gamma_r = \frac{2,0}{2,0 - 1,22} = 2570 \text{ kg/m}^3$$

O quadro 7 apresenta os resultados obtidos do ensaio de caracterização dos materiais de forma organizada.

**Quadro 7 – Características dos materiais**

| <b>Característica</b>           | <b>Cimento</b>          | <b>Agregado miúdo</b>   | <b>Agregado graúdo</b>  |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Tipo                            | CP II Z-32              | Areia                   | Brita                   |
| Massa específica ( $\gamma_r$ ) | 3.100 kg/m <sup>3</sup> | 2.620 kg/m <sup>3</sup> | 2.570 kg/m <sup>3</sup> |
| Massa unitária ( $\gamma_a$ )   | -                       | 1.500 kg/m <sup>3</sup> | 1.500 kg/m <sup>3</sup> |
| Módulo de finura (MF)           | -                       | 2,40                    | -                       |
| Ø máximo do agregado graúdo     | -                       | -                       | 9,50 mm                 |

Fonte: Próprios autores, 2017

#### 4.1.1.3 Ensaio de umidade da areia

O teste foi realizado com duas amostras com massa definida, e levadas a estufa por 24 horas a uma temperatura de 100°C.

Amostra 1:

- Massa inicial = 20,0043g
- Massa seca (após a secagem) = 19,9546g
- Umidade = 0,25%

Amostra 2:

- Massa inicial = 20,0g
- Massa seca = 19,9782g
- Umidade = 0,11%

Umidade média das amostras = 0,18%

#### 4.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO MÉTODO ABCP

Nesta etapa foi desenvolvido os calculos de dosagem do concreto para as seguintes resistências, 20Mpa, 25Mpa e 30Mpa. Para realizar o ensaio de resistência a compressão com idade de 28 dias.

Abtimento requerido =  $60 \pm 10$  mm

Condição de preparo – B, Sd = 5,5

##### 4.2.1 Dosagem para o concreto com fck de 20 Mpa:

1. Determinação da resitêncai média  $f_{cj}$ , de acordo com a equação 1;

$$f_{cj} = 20 + 1,65 \times 5,5$$

$$f_{cj} = 29,075 \text{ Mpa}$$

2. Determinação da relação água/cimento, a/c através da Curva de Abrams figura 1:

$$a/c = 0,53$$

3. Determinação da quantidade de água,  $A_{\text{água}}$ , tabela 2:

Para  $D_{\text{máx}} = 9,5$  mm e slump = 40 a 60 mm, tem-se:

$$A_{\text{água}} = 220 \text{ l/m}^3$$

4. Determinação do consumo de cimento,  $C_{\text{cim}}$ , conforme a equação 2:

$$C_{\text{cim}} = \frac{220}{0,53} = 415,1 \text{ kg/m}^3$$

5. Determinação do consumo de agregado graúdo,  $B_{\text{brita}}$ , tabela 3 e equação 3:

Para  $D_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$  e  $MF = 2,40$ , tem-se:

$$V_c = 0,585$$

$$B_{\text{brita}} = 1500 \times 0,585 = 877,5 \text{ kg/m}^3$$

6. Determinação do consumo de agregado miúdo,  $C_{\text{areia}}$ , conforme as equações 4 e 5:

Volume de areia;

$$V_{\text{areia}} = 1 - \left( \frac{415,1}{3100} + \frac{877,5}{2570} + \frac{220}{1000} \right) = 0,305 \text{ m}^3$$

Consumo de areia;

$$C_{\text{areia}} = 2620 \times 0,305 = 799,1 \text{ kg/m}^3$$

7. Definição do traço de concreto em massa TM:

$$415,1 : 799,1 : 877,5 : 220$$

8. Definição do traço unitário TU, equação 6:

$$1 : \frac{799,1}{415,1} : \frac{877,5}{415,1} : \frac{220}{415,1}$$

$$1 : 1,91 : 2,11 : 0,53$$

9. Calculo da quantidade de materiais para a produção dos corpos de prova:

Volume de concreto necessário para moldagem de 6 corpos de prova, diâmetro 10 cm e altura 20 cm:

$$V_{\text{cp}} = 11,31 \text{ l}$$

$$C_{cim} = \left( \frac{11,31}{\frac{1}{3,1} + \frac{1,92}{2,62} + \frac{2,11}{2,57} + 0,53} \right) = 4,7 \text{ kg}$$

$$C_{areia} = 1,92 \times 4,7 = 9,024 \text{ kg}$$

$$C_{brita} = 2,11 \times 4,7 = 9,917 \text{ kg}$$

$$A_{\text{água}} = 0,53 \times 4,7 = 2,49 \text{ kg}$$

#### 4.2.2 Dosagem para o concreto com fck de 25 Mpa:

1. Determinação da resistência média  $f_{cj}$ , de acordo com a equação 1;

$$f_{cj} = 25 + 1,65 \times 5,5$$

$$f_{cj} = 34,075 \text{ Mpa}$$

2. Determinação da relação água/cimento,  $a/c$  através da Curva de Abrams figura 1:

$$a/c = 0,47$$

3. Determinação da quantidade de água,  $A_{\text{água}}$ , tabela 2:

Para  $D_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$  e slump = 40 a 60 mm, tem-se:

$$A_{\text{água}} = 220 \text{ l/m}^3$$

4. Determinação do consumo de cimento,  $C_{cim}$ , conforme a equação 2:

$$C_{cim} = \frac{220}{0,47} = 468,08 \text{ kg/m}^3$$

5. Determinação do consumo de agregado graúdo,  $B_{brita}$ , tabela 3 e equação 3:

Para  $D_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$  e MF = 2,40, tem-se:

$$V_c = 0,585$$

$$B_{brita} = 1500 \times 0,585 = 877,5 \text{ kg/m}^3$$

6. Determinação do consumo de agregado miúdo,  $C_{areia}$ , conforme as equações 4 e 5:

Volume de areia;

$$V_{areia} = 1 - \left( \frac{468,08}{3100} + \frac{877,5}{2570} + \frac{220}{1000} \right) = 0,287 \text{ m}^3$$

Consumo de areia;

$$C_{areia} = 2620 \times 0,287 = 751,94 \text{ kg/m}^3$$

7. Definição do traço de concreto em massa TM:

$$468,08 : 751,94 : 877,5 : 220$$

8. Definição do traço unitário TU, equação 6:

$$1 : \frac{751,94}{468,08} : \frac{877,5}{468,08} : \frac{220}{468,08}$$

$$1 : 1,61 : 1,87 : 0,47$$

9. Cálculo da quantidade de materiais para a produção dos corpos de prova:

Volume de concreto necessário para moldagem de 6 corpos de prova, diâmetro 10 cm e altura 20 cm:

$$V_{cp} = 11,31$$

$$C_{cim} = \left( \frac{11,31}{\frac{1}{3,1} + \frac{1,61}{2,62} + \frac{1,87}{2,57} + 0,47} \right) = 5,30 \text{ kg}$$

$$C_{\text{areia}} = 1,61 \times 5,3 = 8,53 \text{ kg}$$

$$C_{\text{brita}} = 1,87 \times 5,3 = 9,90 \text{ kg}$$

$$A_{\text{água}} = 0,47 \times 5,3 = 2,49 \text{ kg}$$

#### 4.2.3 Dosagem para o concreto com fck de 30 Mpa:

1. Determinação da resistência média  $f_{cj}$ , de acordo com a equação 1;

$$f_{cj} = 30 + 1,65 \times 5,5$$

$$f_{cj} = 39,075 \text{ Mpa}$$

2. Determinação da relação água/cimento,  $a/c$  através da Curva de Abrams figura 1:

$$a/c = 0,42$$

3. Determinação da quantidade de água,  $A_{\text{água}}$ , tabela 2:

Para  $D_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$  e slump = 40 a 60 mm, tem-se:

$$A_{\text{água}} = 220 \text{ l/m}^3$$

4. Determinação do consumo de cimento,  $C_{\text{cim}}$ , conforme a equação 2:

$$C_{\text{cim}} = \frac{220}{0,42} = 523,81 \text{ kg/m}^3$$

5. Determinação do consumo de agregado graúdo,  $B_{\text{brita}}$ , tabela 3 e equação 3:

Para  $D_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$  e MF = 2,40, tem-se:

$$V_c = 0,585$$

$$B_{\text{brita}} = 1500 \times 0,585 = 877,5 \text{ kg/m}^3$$

6. Determinação do consumo de agregado miúdo,  $C_{areia}$ , conforme as equações 4 e 5:

Volume de areia;

$$V_{areia} = 1 - \left( \frac{523,81}{3100} + \frac{877,5}{2570} + \frac{220}{1000} \right) = 0,269 \text{ m}^3$$

Consumo de areia;

$$C_{areia} = 2620 \times 0,269 = 704,78 \text{ kg/m}^3$$

7. Definição do traço de concreto em massa TM:

$$523,81 : 704,78 : 877,5 : 220$$

8. Definição do traço unitário TU, equação 6:

$$1 : \frac{704,78}{523,81} : \frac{877,5}{523,81} : \frac{220}{523,81}$$

$$1 : 1,35 : 1,67 : 0,42$$

9. Calculo da quantidade de materiais para a produção dos corpos de prova:

Volume de concreto necessário para moldagem de 6 corpos de prova, diâmetro 10 cm e altura 20 cm:

$$V_{cp} = 11,31 \text{ l}$$

$$C_{cim} = \left( \frac{11,31}{\frac{1}{3,1} + \frac{1,35}{2,62} + \frac{1,67}{2,57} + 0,42} \right) = 5,93 \text{ kg}$$

$$C_{areia} = 1,35 \times 5,93 = 8,00 \text{ kg}$$

$$C_{brita} = 1,67 \times 5,93 = 9,90 \text{ kg}$$



$$A_{\text{água}} = 0,42 \times 5,93 = 2,49 \text{ kg}$$

Com os traços já determinados é realizado a mistura do concreto, que permite realizar os ensaios de abatimento e resistência a compressão, afim de obter os resultados requeridos pelo projeto.

#### 4.3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO MÉTODO EPUSP/IPT

Para este ensaio foram definidos os traços experimentais, 1:4, 1:5 e 1:6, respectivamente, traço rico, intermediário e pobre. Iniciou-se os testes de teor de argamassa ( $\alpha$ ) com o traço intermediário, 1:5, partindo de uma estimativa inicial de 35% de teor de argamassa, encontrando 51% como teor ideal. Definido o teor de argamassa, iniciou-se os testes em cada traço para definir a relação água/cimento que atendesse o abatimento desejado,  $60 \pm 10$  mm (Quadro 8).

**Quadro 8 – Relação água/cimento em função dos traços**

|            | traço 1:4   | traço 1:5   | traço 1:6   |
|------------|-------------|-------------|-------------|
|            | 1:1,55:2,45 | 1:2,06:2,94 | 1:2,57:3,43 |
| a/c        | 0,55        | 0,70        | 0,76        |
| $\alpha$ % | 51%         | 51%         | 51%         |

Fonte: Próprios autores, 2017

Após a moldagem dos corpos-de-prova, foram realizados ensaios de resistência a compressão para cada um dos traços, com o tempo de cura de, 3, 7 e 28 dias. Os resultados obtidos estão apresentados no quadro 9.

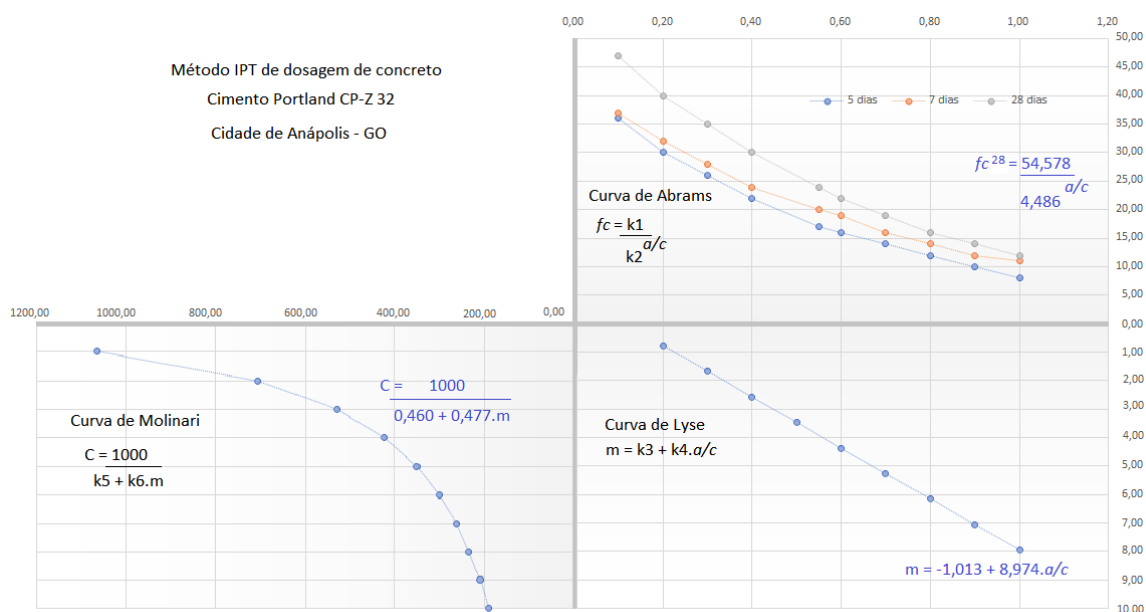
**Quadro 9 – Resultados do ensaio de resistência a compressão**

| Traço        | 1:4   |       |       | 1:5  |      |       | 1:6 |      |       |
|--------------|-------|-------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|
| Idade (dias) | 3     | 7     | 28    | 3    | 7    | 28    | 3   | 7    | 28    |
| Tensão (MPa) | 17,15 | 19,75 | 24,10 | 14,4 | 16,7 | 18,55 | 12  | 14,7 | 17,80 |

Fonte: Próprios autores, 2017

Com os resultados do quadro 9, e através das leis de comportamentos apresentadas anteriormente no item 3.3 do capítulo 3, foi construído o diagrama de dosagem como mostra a figura a seguir.

**Figura 7 - Diagrama de dosagem**



Fonte: Próprios autores, 2017

Com o diagrama de dosagem construído para as características específicas de cada material utilizado na composição do concreto, procedeu-se para as dosagens com as seguintes resistências de 20, 25 e 30 Mpa.

#### 4.3.2 Dosagem para o concreto com fck de 20 Mpa:

1. Determinação da resistência média  $f_{cj}$ , de acordo com a equação 1;

$$f_{cj} = 20 + 1,65 \times 5,5$$

$$f_{cj} = 29,075 \text{ Mpa}$$

Através do diagrama de dosagem é definido a relação água/cimento ( $a/c$ ), o teor de materiais secos ( $m$ ) e o consumo de cimento ( $C$ ) por  $m^3$  de concreto.

- $a/c = 0,669$
- $m = 4,99$
- $C = 402,00 \text{ kg/m}^3$

2. Determinação da proporção de agregados:

Proporção de areia (equação 8):

$$a = 51\% \times (1 + 4,99) - 1 = 2,055$$

Proporção de brita (equação 9):

$$b = 4,99 - 2,055 = 2,935$$

3. Determinação do traço unitário:

$$1 : 2,055 : 2,935 : 0,699$$

4. Cálculo da quantidade de materiais para a produção dos corpos de prova:

Volume de concreto necessário para moldagem de 6 corpos de prova, diâmetro 10 cm e altura 20 cm:

$$V_{cp} = 11,31 \text{ l}$$

$$C_{cim} = \left( \frac{11,31}{\frac{1}{3,1} + \frac{2,05}{2,62} + \frac{2,935}{2,57} + 0,699} \right) = 3,90 \text{ kg}$$

$$C_{areia} = 2,05 \times 3,90 = 8,01 \text{ kg}$$

$$C_{brita} = 2,935 \times 3,90 = 11,45 \text{ kg}$$

$$A_{\text{água}} = 0,699 \times 3,90 = 2,613 \text{ kg}$$

#### 4.3.1 Dosagem para o concreto com $f_{ck}$ de 25 Mpa:

1. Determinação da resistência média  $f_{cj}$ , de acordo com a equação 1;

$$f_{cj} = 25 + 1,65 \times 5,5$$

$$f_{cj} = 34,075 \text{ Mpa}$$

Através do diagrama de dosagem é definido a relação água/cimento ( $a/c$ ), o teor de materiais secos ( $m$ ) e o consumo de cimento ( $C$ ) por  $m^3$  de concreto.

- $a/c = 0,52$
- $m = 3,653$
- $C = 454,033 \text{ kg/m}^3$

2. Determinação da proporção de agregados:

Proporção de areia (equação 8):

$$a = 51\% \times (1 + 3,653) - 1 = 1,37$$

Proporção de brita (equação 9):

$$b = 3,653 - 1,373 = 2,28$$

3. Determinação do traço unitário:

$$1 : 1,37 : 2,28 : 0,52$$

4. Cálculo da quantidade de materiais para a produção dos corpos de prova:

Volume de concreto necessário para moldagem de 6 corpos de prova, diâmetro 10 cm e altura 20 cm:

$$V_{cp} = 11,31 \text{ l}$$

$$C_{cim} = \left( \frac{11,31}{\frac{1}{3,1} + \frac{1,37}{2,62} + \frac{2,28}{2,57} + 0,52} \right) = 5,02 \text{ kg}$$

$$C_{areia} = 1,37 \times 5,02 = 6,90 \text{ kg}$$

$$C_{brita} = 2,28 \times 5,02 = 11,45 \text{ kg}$$

$$A_{\acute{a}gua} = 0,52 \times 5,02 = 2,610 \text{ kg}$$

### 4.3.3 Dosagem para o concreto com fck de 30 Mpa:

1. Determinação da resistência média  $f_{cj}$ , de acordo com a equação 1;

$$f_{cj} = 30 + 1,65 \times 5,5$$

$$f_{cj} = 39,075 \text{ Mpa}$$

Através do diagrama de dosagem é definido a relação água/cimento ( $a/c$ ), o teor de materiais secos ( $m$ ) e o consumo de cimento ( $C$ ) por  $m^3$  de concreto.

- $a/c = 0,40$
- $m = 2,568$
- $C = 593,494 \text{ kg/m}^3$

2. Determinação da proporção de agregados:

Proporção de areia (equação 8):

$$a = 51\% \times (1 + 2,568) - 1 = 0,82$$

Proporção de brita (equação 9):

$$b = 2,568 - 0,82 = 1,75$$

3. Determinação do traço unitário:

$$1 : 0,82 : 1,75 : 0,40$$

#### 4. Cálculo da quantidade de materiais para a produção dos corpos de prova:

Volume de concreto necessário para moldagem de 6 corpos de prova, diâmetro 10 cm e altura 20 cm:

$$V_{cp} = 11,31 \text{ l}$$

$$C_{cim} = \left( \frac{11,31}{\frac{1}{3,1} + \frac{0,82}{2,62} + \frac{1,75}{2,57} + 0,40} \right) = 6,60 \text{ kg}$$

$$C_{areia} = 0,82 \times 6,60 = 5,40 \text{ kg}$$

$$C_{brita} = 1,75 \times 6,60 = 11,55 \text{ kg}$$

$$A_{\text{água}} = 0,40 \times 6,60 = 2,640 \text{ kg}$$

Com os traços já determinados é realizado a mistura do concreto, que permite realizar os ensaios de abatimento e resistência a compressão, afim de obter os resultados requeridos pelo projeto.

#### 4.4 RESULTADOS E ANÁLISE DO EXPERIMENTO

Com os traços determinados para cada um dos métodos de dosagem e suas resistências definidas, foi realizado a mistura dos materiais para confecção do concreto, afim de realizar os ensaios de abatimento do tronco de cone e resistência a compressão. Para fim de calculos e obtenção dos traços foram estabelecidos os seguintes parâmetros, abatimento de  $60 \pm 10$  mm e resistências de 20, 25 e 30 MPa.

A figura 8 apresenta o ensaio de abatimento (Slump test) no tronco de cone para a determinação da consistência e fluidez do concreto, foram utilizadas as seguintes ferramentas para esse ensaio: molde de tronco de cone, placa metálica de base, haste de aço, concha e trena. O ensaio foi produzido conforme a ABNT NBR NM 67:1996 seguindo todos os requisitos estabelecidos.

**Figura 8 – Ensaio de abatimento (Slump test)**



Fonte: Próprios autores, 2017

As figuras 9 e 10 apresentam a moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos, foram utilizados corpos de prova de dimensões 10 x 20 cm, haste de aço e concha, para a cura do concreto foi utilizado a câmara úmida. O ensaio foi realizado de acordo a ABNT NBR 5738:2015.

**Figura 9 – Corpos de prova**



Fonte: Próprios autores, 2017

**Figura 10 – Cura do concreto câmara úmida**



Fonte: Próprios autores, 2017

O ensaio de resistência a compressão foi realizado segundo a ABNT NBR 5739:2007, foi utilizado uma prensa elétrica digital, para realização do ensaio, apresentada na figura 11.

**Figura 11 – Ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova**



Fonte: Próprios autores, 2017



Os quadros 10 e 11 apresentam os valores de abatimento e resistência à compressão obtidos por meio dos ensaios realizados em laboratório, para os traços exemplos calculados e apresentados nos itens 4.2 e 4.3, ACBP e EPUSP/IPT, nas idades definidas de acordo a metodologia estabelecida por cada método de dosagem.

**Quadro 10 – Ensaio de resistência à compressão e abatimento (ACBP)**

| Resultados obtidos pelo método ACBP |         |                   |                  |            |
|-------------------------------------|---------|-------------------|------------------|------------|
| <i>fck</i>                          | Idade   | Tensão de Ruptura | Carga de Ruptura | Abatimento |
| 20 MPa                              | 7 dias  | 18,90 MPa         | 15.130 kgf       | 20,00 mm   |
|                                     | 14 dias | 22,00 MPa         | 17.615 kgf       |            |
|                                     | 28 dias | 25,75 MPa         | 20.615 kgf       |            |
| 25 MPa                              | 7 dias  | 22,60 MPa         | 18.115 kgf       | 30,00 mm   |
|                                     | 14 dias | 25,15 MPa         | 20.155 kgf       |            |
|                                     | 28 dias | 29,85 MPa         | 23.915 kgf       |            |
| 30 MPa                              | 7 dias  | 26,95 MPa         | 21.565 kgf       | 20,00 mm   |
|                                     | 14 dias | 29,90 MPa         | 23.930 kgf       |            |
|                                     | 28 dias | 36,10 MPa         | 28.945 kgf       |            |

Fonte: Próprios autores, 2017

**Quadro 11 – Ensaio de resistência à compressão e abatimento (EPUSP/IPT)**

| Resultados obtidos pelo método EPUSP/IPT |         |                   |                  |            |
|--|---------|-------------------|------------------|------------|
| <i>fck</i>                               | Idade   | Tensão de Ruptura | Carga de Ruptura | Abatimento |
| 20 MPa                                   | 3 dias  | 15,90 MPa         | 12.705 kgf       | 60,00 mm   |
|  | 7 dias  | 17,80 MPa         | 14.270 kgf       |            |
|  | 28 dias | 24,85 MPa         | 19.897 kgf       |            |
| 25 MPa                                   | 3 dias  | 19,15 MPa         | 15.330 kgf       | 50,00 mm   |
|  | 7 dias  | 20,20 MPa         | 16.200 kgf       |            |
|  | 28 dias | 29,60 MPa         | 23.700 kgf       |            |
| 30 MPa                                   | 3 dias  | 27,40 MPa         | 21.950 kgf       | 60,00 mm   |
|  | 7 dias  | 29,50 MPa         | 23.650 kgf       |            |
|  | 28 dias | 32,90 MPa         | 26.335 kgf       |            |

Fonte: Próprios autores, 2017

O quadro 12 apresenta a variação do preço do concreto entre os dois métodos.

**Quadro 12 – Relação de custo dos materiais**

| Custo dos materiais por m <sup>3</sup> de concreto |             |         |       |         |                |                     |
|--|-------------|---------|-------|---------|----------------|---------------------|
| Método   | Resistência | Cimento | Areia | Brita 0 | Preço Concreto | Diferença preço (%) |
| ABCP   | 30 Mpa      | 199,20  | 47,18 | 70,03   | 316,41         | 7,8%                |
| EPUSP/IPT  | 30 Mpa      | 225,53  | 32,44 | 82,99   | 340,97         |                     |
| ABCP   | 25 Mpa      | 178,01  | 50,28 | 70,08   | 298,37         | 8,0%                |
| EPUSP/IPT  | 25 Mpa      | 172,53  | 41,56 | 108,25  | 322,34         |                     |
| ABCP   | 20 Mpa      | 157,74  | 53,13 | 70,07   | 280,94         | 7,6%                |
| EPUSP/IPT  | 20 Mpa      | 152,76  | 55,07 | 94,39   | 302,22         |                     |

Fonte: Próprios autores, 2017

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado apresentou ótimos resultados e alcançou o seu objetivo, comparando os dois métodos de dosagem, que são referências no Brasil. Verificou-se que os métodos de dosagem adotados nessa pesquisa apresentaram resultados similares quanto a resistência à compressão, porém em termos de trabalhabilidade, o método do EPUSP/IPT apresentou melhor desempenho em relação ao método ABCP.

No método EPUSP/IPT, é elaborado um diagrama de dosagem especificamente para as características de um determinado lote de materiais e para um abatimento e teor de argamassa pré-estabelecidos, tendo assim uma melhor precisão nos resultados, alcançando os requisitos de projeto estabelecidos. No entanto é um método bastante complexo de se trabalhar, porque envolve várias etapas experimentais, exigindo bastante conhecimento e prática na produção de concreto.

Quanto ao método ABCP, considera-se tabelas e gráficos prontos, elaborados por pesquisadores por meio de resultados experimentais, sendo aplicado para diversos tipos de materiais de forma generalizada, não tendo uma boa precisão nos resultados, necessitando de ajustes para se obter os resultados exigidos em projeto. Porém é um método simples com um roteiro bem detalhado e fácil de entender, com etapas, que podem ser seguidas por técnicos com pouca experiência em dosagem de concreto.

Através da caracterização dos materiais, foi verificado que a umidade da areia estava praticamente nula, com 0,18%, e a umidade relativa do ar, no período em que foi realizada a produção do concreto, atingia apenas 18%. Isso explica o motivo pelo qual o método ABCP apresentou uma trabalhabilidade muito abaixo da esperada na dosagem, pois o consumo de água consumido pelos agregados foi muito maior que o usual do método. Uma solução seria aumentar a relação água/cimento, pois quanto mais água na mistura, maior trabalhabilidade terá o concreto em seu estado fresco, porém, com o aumento da água a resistência à compressão decresce.

Sendo assim, a melhor solução seria o uso de aditivos plastificantes à mistura, tornando o concreto fresco mais fluido, sem a necessidade de aumentar o consumo de água. Enquanto no método EPUSP/IPT, o diagrama elaborado através dos testes experimentais em laboratório, já considera essa baixa umidade para aquele material específico, tornando sua relação água/cimento adequada, obtendo tanto a resistência à compressão quanto a trabalhabilidade, sem a necessidade de correções no traço.

Em relação ao custo do concreto, foi feita uma comparação de preços no mercado, onde o método EPUSP/IPT apresentou-se mais caro em relação ao método ABCP, com uma diferença de preço de aproximadamente 8%. O método EPUSP/IPT tem um melhor desempenho nos critérios de serviço, porém tem um custo maior para sua produção, tornando-se menos econômico.

Os dois métodos podem ser utilizados e trabalhados de forma eficaz, dependendo da necessidade e exigência de cada projeto, da disposição de recursos e equipamentos, para que se possa desenvolver as atividades estabelecidas por cada método.

## 5.1 PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS

Para fim de estudos e pesquisas futuras, é necessário desenvolver um estudo aprofundado, com desenvolvimento teórico e experimental, para diversos tipos de materiais, com características diferentes, afim de contribuir e aperfeiçoar os métodos de dosagem em questão. Também pode ser feito um estudo em relação ao uso dos aditivos para concreto, aditivos plastificantes e superplastificantes, verificar e analisar os principais benefícios desse componente o qual é bastante utilizado na confecção de concretos, e ver o comportamento da mistura utilizando esses métodos de dosagem com o auxílio do aditivo.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655** – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26** – Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27** – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211** – Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248** – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52** – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45** – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53** – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67** – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- 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 5739** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova-cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **ABESC** – Manual do concreto dosado em central. São Paulo, 2007.
- ASSUNÇÃO, José W. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do paraná**. Florianópolis: UFSC, 2002.
- BOGGIO, Aldo J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

FERREIRA, Ricardo. **Regressão linear simples: método dos mínimos quadrados.** [http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/puc\\_mac\\_o2\\_12\\_equacoes-abrams-lyse-molinari.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/puc_mac_o2_12_equacoes-abrams-lyse-molinari.pdf). 26/07/2017.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. **Método de dosagem da ABCP.** <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>. 15/09/2017.

IBRACON. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** ed. G.C. Isaia. 2. ed. São Paulo, 2010. 1712p. 1v, 2v.

IBRACON. **Concreto: Ciência e tecnologia.** ed. G.C. Isaia. 1. ed. São Paulo, 2011. 1946p. 1v, 2v.

PETRUCCI, Eládio Geraldo Requião. **Concreto de cimento Portland.** 9. ed. Atualizada e rev. /por Vladimir Antonio Paulon. Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo, 1982. Enciclopédia técnica universal Globo.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de construção civil.** 3. ed. Belo horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2011. 112p.

SHERATA, Ibrahim. **Propriedades do concreto.** <http://www.wp.coc.ufrj.br/~ibrahim/propriedade.htm>. 10/09/2017.

VANDERLEI, Romel Dias. **Método de dosagem EPUSP/IPT.** <http://www.gdace.uem.br/romel/MDidatico/ConcretosEspeciais/PEU4025-Aula09-Metodo%20de%20Dosagem.pdf>. 15/09/2017.

**ANEXO – RESULTADOS DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE  
CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS**



### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

**Amostra:** 1:4  
**Tipo de ensaio:** Compressão Axial  
**Cliente:**  
**Responsável:**  
**Data de Moldagem:** 16/08/2017

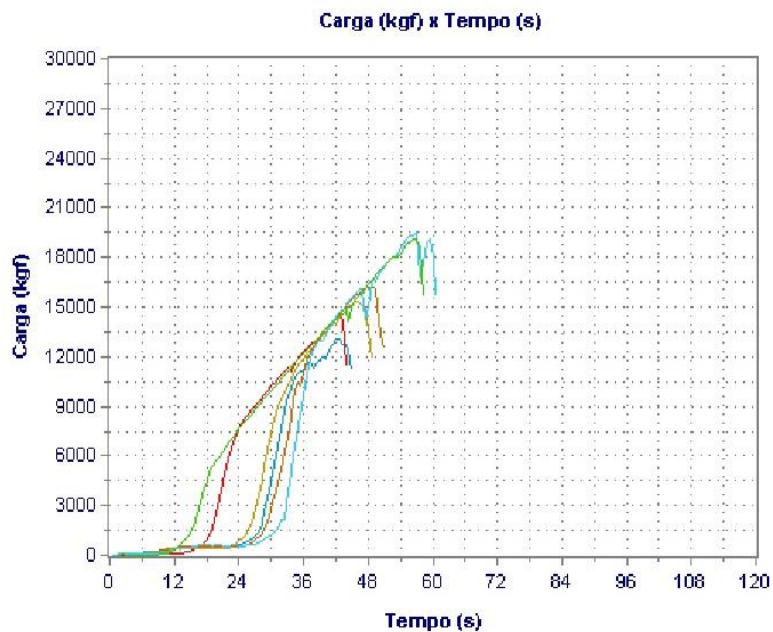
#### Dados Complementares

**Tensão ruptura prevista:**  
**Distância fixação extensômetros:**

#### Dados dos Corpos de Prova

| Id. CP | Idade | Tensão Ruptura | Carga Ruptura | Tipo |
|--------|-------|----------------|---------------|------|
| 01     | 5     | 16,4 (MPa)     | 13.110 (kgf)  |      |
| 02     | 5     | 17,9 (MPa)     | 14.310 (kgf)  |      |
| 03     | 7     | 19,2 (MPa)     | 15.350 (kgf)  |      |
| 04     | 7     | 20,3 (MPa)     | 16.220 (kgf)  |      |
| 05     | 28    | 24,4 (MPa)     | 19.520 (kgf)  |      |
| 06     | 28    | 23,8 (MPa)     | 19.080 (kgf)  |      |

#### Gráfico dos Ensaios







### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

**Amostra:** 1:5-1  
**Tipo de ensaio:** Compressão Axial  
**Cliente:**  
**Responsável:**  
**Data de Moldagem:** 16/08/2017

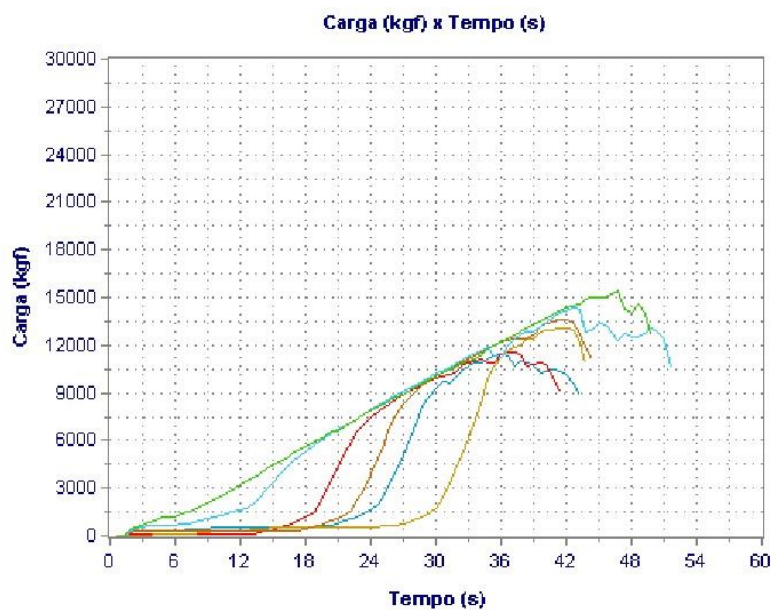
#### Dados Complementares

**Tensão ruptura prevista:**  
**Distância fixação extensômetros:**

#### Dados dos Corpos de Prova

| Id. CP | Idade | Tensão Ruptura | Carga Ruptura | Tipo |
|--------|-------|----------------|---------------|------|
| 01     | 5     | 14,3 (MPa)     | 11.470 (kgf)  |      |
| 02     | 5     | 14,5 (MPa)     | 11.600 (kgf)  |      |
| 03     | 7     | 16,4 (MPa)     | 13.140 (kgf)  |      |
| 04     | 7     | 17,0 (MPa)     | 13.600 (kgf)  |      |
| 05     | 28    | 17,9 (MPa)     | 14.340 (kgf)  |      |
| 06     | 28    | 19,2 (MPa)     | 15.410 (kgf)  |      |

#### Gráfico dos Ensaios





### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 1:6  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 16/08/2017

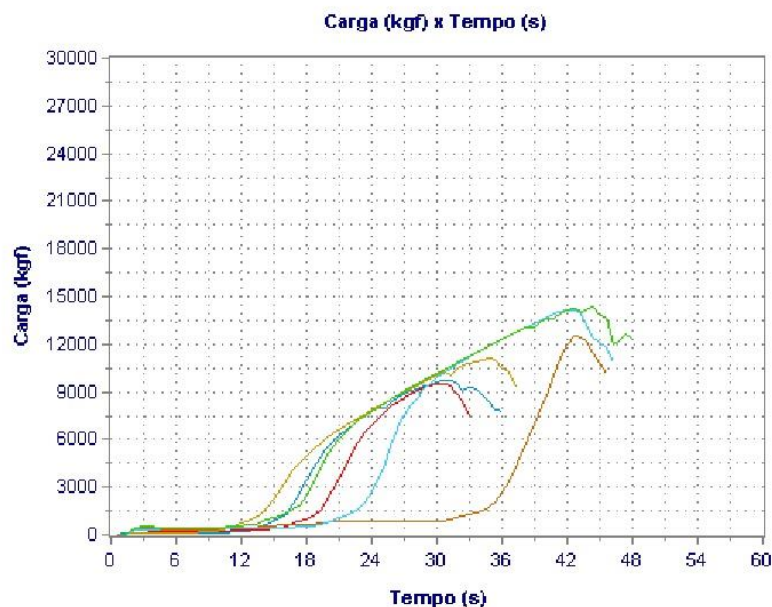
#### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

#### Dados dos Corpos de Prova

| Id. CP | Idade | Tensão Ruptura | Carga Ruptura | Tipo |
|--------|-------|----------------|---------------|------|
| 01     | 5     | 12,1 (MPa)     | 9.720 (kgf)   |      |
| 02     | 5     | 11,9 (MPa)     | 9.530 (kgf)   |      |
| 03     | 7     | 13,8 (MPa)     | 11.080 (kgf)  |      |
| 04     | 7     | 15,6 (MPa)     | 12.530 (kgf)  |      |
| 05     | 28    | 17,7 (MPa)     | 14.150 (kgf)  |      |
| 06     | 28    | 17,9 (MPa)     | 14.310 (kgf)  |      |

#### Gráfico dos Ensaios





### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

**Amostra:** ABCP 20 MPA  
**Tipo de ensaio:** Compressão Axial  
**Cliente:**  
**Responsável:**  
**Data de Moldagem:** 20/09/2017

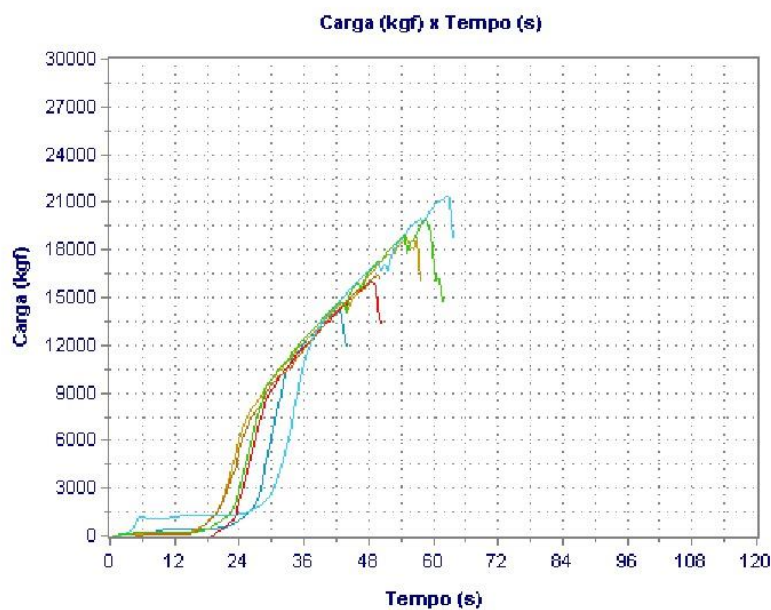
#### Dados Complementares

**Tensão ruptura prevista:**  
**Distância fixação extensômetros:**

#### Dados dos Corpos de Prova

| Id. CP | Idade | Tensão Ruptura | Carga Ruptura | Tipo |
|--------|-------|----------------|---------------|------|
| 01     | 7     | 17,9 (MPa)     | 14.330 (kgf)  |      |
| 02     | 7     | 19,9 (MPa)     | 15.930 (kgf)  |      |
| 02     | 14    | 23,6 (MPa)     | 18.880 (kgf)  |      |
| 03     | 14    | 20,4 (MPa)     | 16.350 (kgf)  |      |
| 04     | 28    | 26,7 (MPa)     | 21.390 (kgf)  |      |
| 05     | 28    | 24,8 (MPa)     | 19.840 (kgf)  |      |

#### Gráfico dos Ensaios





### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

**Amostra:** ABCP 25 MPA  
**Tipo de ensaio:** Compressão Axial  
**Cliente:**  
**Responsável:**  
**Data de Moldagem:** 20/09/2017

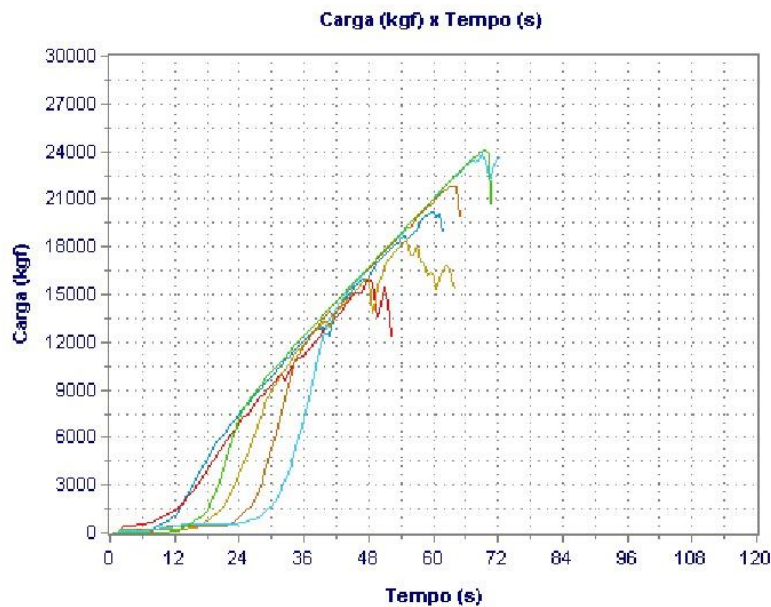
#### Dados Complementares

**Tensão ruptura prevista:**  
**Distância fixação extensômetros:**

#### Dados dos Corpos de Prova

| Id. CP | Idade | Tensão Ruptura | Carga Ruptura | Tipo |
|--------|-------|----------------|---------------|------|
| 01     | 7     | 25,2 (MPa)     | 20.210 (kgf)  |      |
| 02     | 7     | 20,0 (MPa)     | 16.020 (kgf)  |      |
| 03     | 14    | 23,0 (MPa)     | 18.460 (kgf)  |      |
| 04     | 14    | 27,3 (MPa)     | 21.850 (kgf)  |      |
| 05     | 28    | 29,7 (MPa)     | 23.810 (kgf)  |      |
| 06     | 28    | 30,0 (MPa)     | 24.020 (kgf)  |      |

#### Gráfico dos Ensaios





### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

**Amostra:** ABCP 30 MPA  
**Tipo de ensaio:** Compressão Axial  
**Cliente:**  
**Responsável:**  
**Data de Moldagem:** 20/09/2017

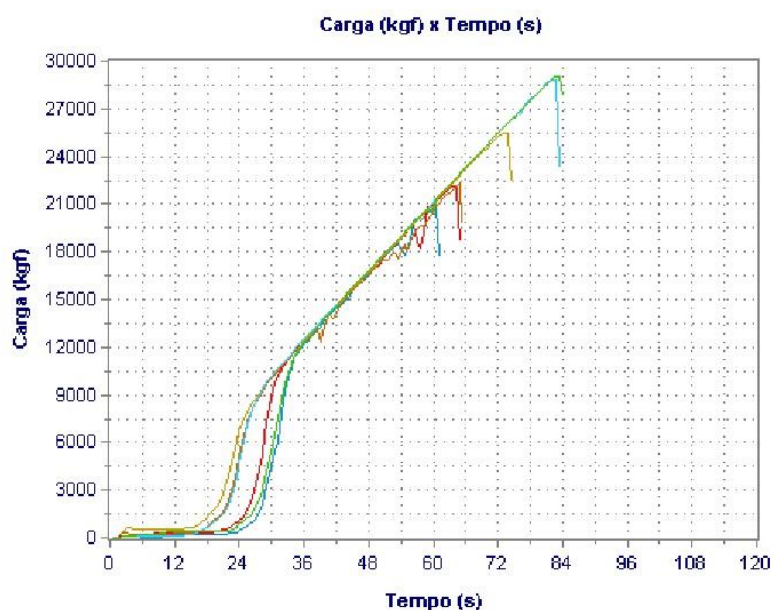
#### Dados Complementares

**Tensão ruptura prevista:**  
**Distância fixação extensômetros:**

#### Dados dos Corpos de Prova

| Id. CP | Idade | Tensão Ruptura | Carga Ruptura | Tipo |
|--------|-------|----------------|---------------|------|
| 01     | 7     | 26,2 (MPa)     | 20.960 (kgf)  |      |
| 02     | 7     | 27,7 (MPa)     | 22.170 (kgf)  |      |
| 03     | 14    | 31,9 (MPa)     | 25.530 (kgf)  |      |
| 04     | 14    | 27,9 (MPa)     | 22.330 (kgf)  |      |
| 05     | 28    | 36,0 (MPa)     | 28.860 (kgf)  |      |
| 06     | 28    | 36,2 (MPa)     | 29.030 (kgf)  |      |

#### Gráfico dos Ensaios





### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

**Amostra:** IPT 20 MPA S/ ADT.  
**Tipo de ensaio:** Compressão Axial  
**Cliente:**  
**Responsável:**  
**Data de Moldagem:** 20/09/2017

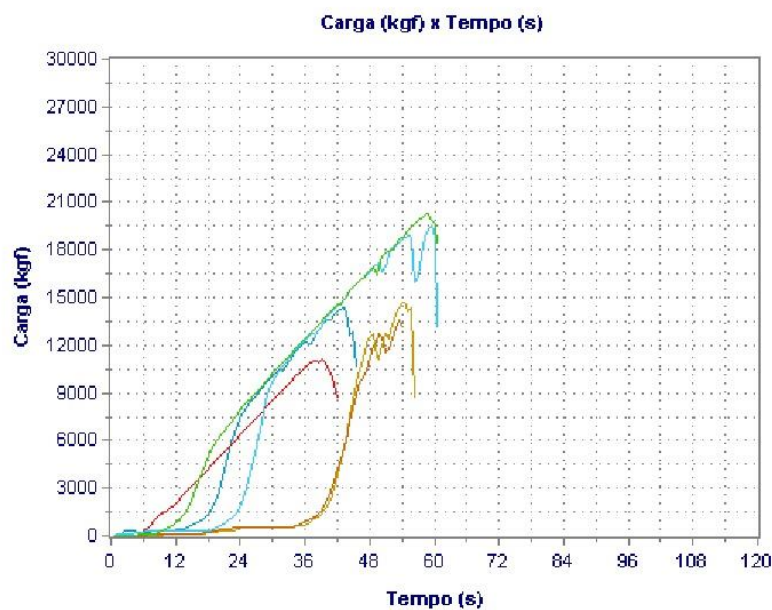
#### Dados Complementares

**Tensão ruptura prevista:**  
**Distância fixação extensômetros:**

#### Dados dos Corpos de Prova

| Id. CP | Idade | Tensão Ruptura | Carga Ruptura | Tipo |
|--------|-------|----------------|---------------|------|
| 01     | 7     | 17,9 (MPa)     | 14.300 (kgf)  |      |
| 02     | 7     | 13,9 (MPa)     | 11.110 (kgf)  |      |
| 03     | 9     | 18,4 (MPa)     | 14.760 (kgf)  |      |
| 04     | 9     | 17,2 (MPa)     | 13.780 (kgf)  |      |
| 05     | 28    | 24,4 (MPa)     | 19.550 (kgf)  |      |
| 06     | 28    | 25,3 (MPa)     | 20.240 (kgf)  |      |

#### Gráfico dos Ensaios





### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

**Amostra:** IPT 25 MPA  
**Tipo de ensaio:** Compressão Axial  
**Cliente:**  
**Responsável:**  
**Data de Moldagem:** 20/09/2017

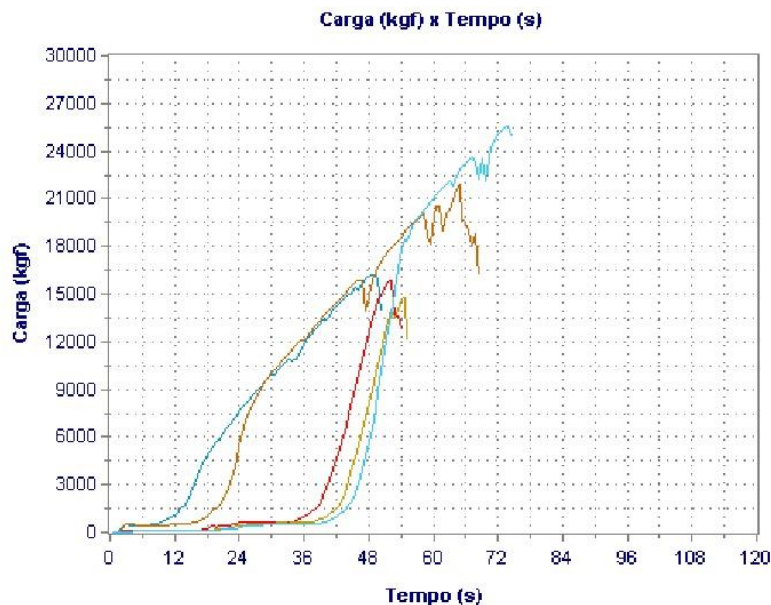
#### Dados Complementares

**Tensão ruptura prevista:**  
**Distância fixação extensômetros:**

#### Dados dos Corpos de Prova

| Id. CP | Idade | Tensão Ruptura | Carga Ruptura | Tipo |
|--------|-------|----------------|---------------|------|
| 01     | 7     | 20,2 (MPa)     | 16.200 (kgf)  |      |
| 02     | 9     | 19,9 (MPa)     | 15.900 (kgf)  |      |
| 03     | 9     | 18,4 (MPa)     | 14.760 (kgf)  |      |
| 04     | 28    | 27,3 (MPa)     | 21.870 (kgf)  |      |
| 05     | 28    | 31,9 (MPa)     | 25.530 (kgf)  |      |

#### Gráfico dos Ensaios





### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: IPT 30 MPA  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 22/09/2017

#### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

#### Dados dos Corpos de Prova

| Id. CP | Idade | Tensão Ruptura | Carga Ruptura | Tipo |
|--------|-------|----------------|---------------|------|
| 01     | 5     | 25,7 (MPa)     | 20.560 (kgf)  |      |
| 02     | 5     | 29,1 (MPa)     | 23.340 (kgf)  |      |
| 03     | 7     | 29,5 (MPa)     | 23.650 (kgf)  |      |
| 04     | 26    | 32,4 (MPa)     | 25.930 (kgf)  |      |
| 05     | 26    | 33,4 (MPa)     | 26.740 (kgf)  |      |

#### Gráfico dos Ensaios

